

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE  
POLYTECHNIQUE

\*\*\*\*\*

DEPARTEMENT DE GENIE  
INFORMATIQUE



UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

NATIONAL ADVANCED SCHOOL  
OF ENGINEERING

\*\*\*\*\*

DEPARTMENT OF COMPUTER  
ENGINEERING

**MISE EN PLACE D'UN LOGICIEL D'AIDE  
À L'AMÉNAGEMENT DES CONCESSIONS  
FORESTIÈRES DU CAMEROUN**

**Mémoire de fin d'études/Master of Engineering**

*Presenté et soutenu par*

**CHARLES FERDINANG MARIE OGOLONG**

En vue de l'obtention du :

**Diplôme d'Ingénieur de Conception de Génie Informatique**

Sous la Direction de :

**THOMAS BOUETOU , Maître de Conférences, UY1**

**DR. VIVIEN ROSSI, Modélisateur statisticien,HDR, Cadre scientifique au  
CIRAD**

**PIERRE NICOLAS ERIC TONYE LISSOUCK , Ingénieur en informatique**

Devant le jury composé de :

Président : **THOMAS DJOTIO, Maître de Conférences, UY1**

Rapporteur : **THOMAS BOUETOU BOUETOU, Maître de Conférences,  
UY1**

Examineur : **IBRAHIM MOUKOUOP, Chargé de Cours, UY1**

Invité : **VIVIEN ROSSI, Modélisateur statisticien,HDR, Cadre scientifique  
au CIRAD**

**Année académique 2018-2019**

**Mémoire soutenu le 08 Juillet 2019**



**MISE EN PLACE D'UN LOGICIEL D'AIDE  
À L'AMÉNAGEMENT DES CONCESSIONS  
FORESTIÈRES DU CAMEROUN**

**Mémoire de fin d'études/Master of Engineering**

*Présenté et soutenu par*

**CHARLES FERDINANG MARIE OGOLONG**

En vue de l'obtention du :

**Diplôme d'Ingénieur de Conception de Génie Informatique**

Sous la Direction de :

**THOMAS BOUETOU BOUETOU ,Professeur, ENSPY**

**VIVIEN ROSSI, Modélisateur statisticien,HDR, Cadre scientifique au  
CIRAD**

**ERIC NICOLAS PIERRE TONYE LISSOUCK, Ingénieur informaticien, SGC**

Devant le jury composé de :

Président : **THOMAS DJOTIO, Professeur, ENSPY**

Rapporteur : **THOMAS BOUETOU BOUETOU, Professeur, ENSPY**

Examineur : **IBRAHIM MOUKOUOP, Chargé de Cours, ENSPY**

Invité : **VIVIEN ROSSI, Modélisateur statisticien,HDR, Cadre scientifique  
au CIRAD**

**Année académique 2018-2019**

**Mémoire soutenu le 08 Juillet 2019**

## DÉDICACE

*A la famille grande OGOLONG.*

## REMERCIEMENTS

Mes plus sincères remerciements vont aux personnes suivantes :

- Le **Pr Thomas DJOTIO** pour l'honneur qu'il me fait en présidant mon jury;
- Le **Dr Ibrahim MOUKOUOP**, pour avoir accepté d'examiner ce travail;
- Le **Dr Thomas BOUETOU BOUETOU**, mon encadreur académique, pour sa disponibilité, ses remarques, ses conseils et l'attention qu'il a porté à la rédaction de ce mémoire;
- **Dr. Vivien ROSSI**, mon encadreur professionnel, pour sa disponibilité, ses conseils, le suivi constant, ses encouragements, et son sens pointu de la rigueur dans le travail.
- Le corps enseignant de l'ENSPY, particulièrement celui du Département du Génie Informatique pour leur dévouement à la formation des ingénieurs;
- **Ing. Pierre Nicolas Eric TONYE LISSOUCK**, mon co-encadreur professionnel pour sa présence, ses conseils et l'attention portée sur ce travail tout au long de sa réalisation.
- Toute la famille **OGOLONG**, pour leur amour, leur soutien, leurs conseils et leur encadrement;
- Mes soeurs **Elvir Arly ALIGUENA**, **Yvette Pascal BILO'O**, **Raissa Tatiana MFOUM**, **Hortense Rolande ABENHENYE**, **Michelle Eléonore NKOUME**, **Dominique Christelle KAMOUKO**, **Sandrine Valérie MEVOUNGOU** et **Marie-Claude MVONDO** pour leurs encouragements, leur soutien, leur amour et tous les bons moments passés au quotidien;
- Mes camarades de la promotion GI2019, particulièrement **Mike TSEBO**, **Loic KWITE**, pour leurs conseils et leur disponibilité;
- Mes amis et camarades **Tanguy NZOGNE**, **Freddy TEDEM**, **Pascal NYASSA**, **Vladimir NOUPELAH**, **Paterne KOUAYEP**, et **Eric TAKAM** pour leur soutien et tous ces beaux moments passés ensemble.

Je tiens enfin à remercier toutes les personnes que je n'ai pas pu citer et qui ont participé, d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

## ABRÉVIATIONS

**CIRAD** Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. v, 1

**DMA** Diamètre Minimal d'Aménagement. 17

**DME** Diamètre Minimal d'Exploitation. 17

**IHM** Interface Homme Machine. 51

**MVC** Modèle-Vue-Contrôleur. 26

**UFA** Unité Forestière d'aménagement. 1, 11

## GLOSSAIRE

**aménagement** Ensemble d'activités liées à l'exploitation des concessions des ressources au sein d'une concession. 1

**Bloc** Élément obtenu après la subdivision d'une concession en six (06) parts. Le volume exploitable des espèces qu'on y retrouve est voisin d'une certaine constante.. 21

**classification** Activité liée à l'aménagement des concessions forestières dont l'objectif est de définir des groupes d'espèces répertoriées en fonction des critères bien définis. 2

**subdivision** Activité liée à l'aménagement des concessions forestières dont l'objectif est de décomposer la concessions en zones de volumes exploitables voisins. 16

## RÉSUMÉ

L'exploitation des ressources forestières est un sujet d'importance majeure pour les pays du bassin du Congo. C'est un processus au cours duquel de nombreux intervenants entrent en jeu, pour s'assurer de l'adoption du meilleur compromis. Possédant des retombées importantes pour la sous-région, il est vital que les différentes tâches intervenant dans ce processus soient effectuées de façon efficace, tout en restant conformes aux plans d'aménagement définis et validés par les différentes parties prenantes. Malheureusement, lors de la phase d'exploitation, les exploitants forestiers ne disposent pas vraiment d'outil leur permettant d'être en norme avec les règles établies. Cette dernière étant caractérisée par une estimation détaillée des volumes des espèces disponibles, ainsi qu'une délimitation des frontières internes des concessions à exploiter. Depuis de nombreuses années déjà, les exploitants forestiers ont à leur disposition un logiciel nommé TIAMA, leur permettant une analyse des données d'inventaires réalisées sur les concessions. Malheureusement, ce dernier ne leur offre la possibilité de réaliser ni un traitement automatique des données récoltées sur le terrain, ni des manipulations cartographiques, et étant peu ergonomique, n'apporte pas à ses utilisateurs la pleine satisfaction d'une réelle solution informatique. C'est dans le souci de palier à ce manquement que le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), dans le cadre du projet DYNAFAC, a décidé de mettre au point un logiciel permettant aux exploitants de gagner en efficacité et en précision dans la réalisation de leurs multiples tâches. Notre travail tout au long de notre stage a donc consisté à concevoir, puis à implémenter un logiciel d'aide à l'aménagement des concessions forestières, qui a pour but d'accompagner les exploitants forestiers depuis le traitement des données d'inventaire, jusqu'à la subdivision cartographique des zones à exploiter. Pour y parvenir, nous nous sommes dans un premier temps imprégnés de l'univers du domaine de l'exploitation forestière afin d'avoir une maîtrise acceptable de l'environnement du travail réalisé par les aménagistes. Ceci nous a permis de définir la structure générale de la solution, la composition des fichiers à utiliser, et de réaliser une conception minutieuse du logiciel. Enfin, l'implémentation a été réalisée avec l'usage du langage de programmation R et de son logiciel de calcul statistiques, reconnus pour leur efficacité dans les domaines de l'analyse scientifique des données et du traitement cartographique.[3]

**Mots-clés:** Plan d'aménagement, concession, données d'inventaire, aménagistes, exploitants forestiers, frontières internes des concessions.

## ABSTRACT

The exploitation of forest resources is a subject of major importance for the countries of the Congo Basin. It is a process in which many stakeholders come into play to ensure that the best compromise is adopted. With significant benefits for the sub-region, it is vital that the various tasks involved in this process are carried out efficiently, while remaining in accordance with the management plans defined and validated by the various stakeholders. Unfortunately, forest operators do not really have a tool that allows them to obtain the best performance during the practical phase of logging. The latter is characterised by a detailed estimate of the volumes of available species, as well as a delimitation of the internal boundaries of the concessions to be exploited. However, in order to meet the expectations of the management plan, operators must be able to effectively process inventory data and accurately define the internal boundaries of the areas to be exploited. For many years now, forest operators have had at their disposal a software program called TIAMA, which allows them to analyse inventory data from concessions. Unfortunately, the latter does not allow either automatic processing of data collected in the field, or real cartographic processing and being not very ergonomic, does not provide its users with the full satisfaction of a real IT solution. It is with a view to remedying this shortcoming that the Centre de coopération de recherche en Agronomie pour le développement (CIRAD), as part of the DYNAFAC project, has decided to develop software that will enable operators to improve efficiency and precision in the performance of their multiple tasks. Our work throughout our internship therefore consisted in designing and then implementing software to assist forest concession management, which aims to support forest operators from the processing of inventory data to the mapping subdivision of the area to be exploited. To achieve this, we first immersed ourselves in the world of forestry in order to have an acceptable command of the working environment. This allowed us to define the general structure of the solution, the composition of the files to be used, and to carry out a meticulous design of the software. Finally, the implementation was carried out using the R programming language and its statistical calculation software, which are recognized for their efficiency in the fields of scientific data analysis and cartographic processing.

**Keywords:** management plan, concession, Inventory data, mapping subdivision, timber growers,

## LISTE DES TABLEAUX

2.1	Module Classification :Cas d'utilisation . . . . .	20
2.2	Module Subdivision :Cas d'utilisation . . . . .	21
2.3	Définition et description des classes . . . . .	28
2.4	Détails sur le diagramme de séquences : Effectuer une classification . . . . .	30
2.5	Détails sur le diagramme de séquences : Modifier une classification . . . . .	32
2.6	Détails sur le diagramme de séquences : Effectuer une subdivision en Blocs . . .	34
2.7	Détails sur le diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Blocs . .	35
2.8	Détails sur le diagramme de séquences : Modifier une subdivision en Blocs . . .	37
2.9	Détails sur le diagramme de séquences : Créer une subdivision en Assiettes de coupe . . . . .	39
2.10	Détails sur le diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Assiettes de coupe . . . . .	40
2.11	Détails sur le diagramme de séquences : Créer une subdivision en Assiettes de coupe . . . . .	42

## TABLE DES FIGURES

1.1	Menu principal du logiciel TIAMA . . . . .	7
1.2	Interface du menu "Gestionnaires des projets" . . . . .	8
2.1	Diagramme des cas d'utilisation : Module Classification . . . . .	20
2.2	Diagramme des cas d'utilisation : Module Subdivision en Blocs . . . . .	21
2.3	Diagramme des cas d'utilisation : Module Subdivision en AC . . . . .	22
2.4	Diagramme d'activités : Gestion des Classifications . . . . .	23
2.5	Diagramme d'activités : Gestion des Subdivisions . . . . .	24
2.6	Architecture applicative de la solution . . . . .	26
2.7	Architecture logicielle de la solution . . . . .	27
2.8	Architecture physique de la solution . . . . .	27
2.9	Diagramme de classe global de la solution . . . . .	28
2.10	Diagramme de séquences : Effectuer une classification . . . . .	29
2.11	Diagramme de séquences : Modifier une classification . . . . .	31
2.12	Diagramme de séquences : Effectuer une subdivision en Blocs . . . . .	33
2.13	Diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Blocs . . . . .	35
2.14	Diagramme de séquences : Modifier une subdivision en Blocs . . . . .	36
2.15	Diagramme de séquences : Créer une subdivision en Assiettes de coupes . . . . .	38
2.16	Diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Assiettes de coupe . . . . .	40
2.17	Diagramme de séquences : Modifier une subdivision en Assiettes de coupe . . . . .	41
2.18	Prototype de l'IHM de DafSecc . . . . .	43
3.1	Interface de R sous Windows . . . . .	46
3.2	Interface de R studio sous Windows . . . . .	47
3.3	Page d'accueil de la solution . . . . .	48
3.4	Interface de sélection des fichiers d'inventaire . . . . .	49
3.5	Interface de répartition des espèces . . . . .	50
3.6	Interface de sauvegarde d'une classification . . . . .	50
3.7	Interface de sélection d'une classification pour modification . . . . .	51

## TABLE DES MATIÈRES

Dédicace	i
Remerciements	ii
Abréviations	iii
Glossaire	iv
Résumé	v
Abstract	vi
Liste des tableaux	vii
Table des figures	viii
Introduction	1
<b>1 Etat des lieux</b>	<b>5</b>
1.1 <i>ETUDE DU LOGICIEL TIAMA</i>	6
1.1.1 PRESENTATION DE TIAMA	7
1.1.2 INSUFFISANCES DU LOGICIEL TIAMA	9
1.2 <i>Approches possibles pour la conception de la solution</i>	11
1.2.1 Une règle simple de proportionnalité	11
1.2.2 Interpolation par la méthode des Volumes Finis en dimensions 2	11
1.2.3 Approximation par la méthode de Tésselement de Voronoi	12
1.3 <i>Positionnement</i>	12
<b>2 Méthodologie</b>	<b>14</b>
2.1 <i>Analyse</i>	16
2.1.1 Rappel de l'état des lieux	16
2.1.2 Exigences fonctionnelles	16
2.1.3 Exigences non-fonctionnelles	18
2.1.4 Recensement des contraintes	19
2.1.5 Les cas d'utilisation	19
2.1.6 Workflow ou Diagrammes d'activité	23

---

2.2	<i>CONCEPTION</i>	25
2.2.1	Architecture de la solution	25
2.2.2	Modélisation des données	28
2.2.3	Fonctionnement du système et interactions	29
2.3	<i>Conception de la couche présentation</i>	42
2.4	<i>BILAN DU CHAPITRE</i>	43
<b>3</b>	<b>Implémentation et résultats</b>	44
3.1	<i>Choix des outils</i>	45
3.1.1	Choix des outils de manipulation des données	45
3.2	<i>DEPLOIEMENT</i>	47
3.3	<i>PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS</i>	48
	Conclusion	52
	Bibliographie	54

## INTRODUCTION GENERALE

**L**e bassin du Congo est l'un des plus importants massifs forestiers de la planète. De part sa superficie et sa biodiversité, il apparaît comme l'une des richesses majeures des six pays qu'il recouvre. Ces derniers, conscients du rôle crucial de ces ressources naturelles pour leur développement, mettent sur pieds des règles spécifiques régissant l'exploitation de celles-ci au sein de leurs frontières. En ce qui concerne le Cameroun, l'organisation de l'exploitation forestière est un processus relativement complexe. Le domaine forestier camerounais est, en fonction de nombreux critères, partitionné en vastes étendues nommées Unité Forestière d'aménagement (UFA). Certaines d'entre elles seront alors confiées à des acteurs privés pour exploitation pour une durée allant de 25 à 30 ans, en contrepartie d'un certain nombre de retombées locales et nationales[5]. Sur le plan local, la construction de certains édifices communautaires à l'instar d'écoles ou de centres de santé sont les plus fréquents. Au niveau national, de multiples taxes d'exploitation seront prélevées annuellement aux concessionnaires par le gouvernement. Le but étant de réaliser un accord aux bénéfices partagés entre les différentes parties prenantes. De plus, les Unités Forestières d'Aménagement pour être exploitées sont organisées en concessions forestières. Cependant, pour que l'aménagement des concessions ainsi constituées soit effectif il faudrait au préalable la réalisation par les exploitants d'un plan d'aménagement. Il s'agit d'un document qui définit de façon détaillée comment les ressources seront exploitées tout au long du cycle. Ce plan est par la suite confié aux institutions gouvernementales pour validation avant le réel début des activités. Le plan d'aménagement, pour être jugé conforme, doit garantir la reconstitution du massif forestier au terme du cycle d'exploitation. C'est dans le souci d'élaborer de façon certaine des plans irréprochables que le CIRAD, a lancé depuis quelques années déjà le projet P3FAC. L'objectif étant de mieux appréhender la dynamique forestière afin de prévoir l'évolution des populations des espèces d'arbres dans les zones soumises à l'exploitation.

### Problématique

L'aménagement des concessions forestières est une opération longue et délicate. De nombreuses opérations préparatoires sont effectuées par les exploitants. En effet, la connaissance estimative des volumes des ressources disponibles, leur répartition spatiale ainsi que la prévision de leur évolution sur un cycle représentent les actions menées en amont par les aménagistes. Pour ce faire, les exploitants forestiers débutent par la réalisation d'un inventaire de ressources disponibles sur un certain échantillon de la concession considérée.

L'échantillonnage ainsi réalisé est étendu au niveau de la concession par le biais de considérations mathématiques et forestières, puis scindées en groupes pour l'exploitation. Les groupes constitués devant remplir un certain nombre de critères pour être conformes aux règles d'exploitation définies par le gouvernement. Plus précisément, les espèces doivent être organisées selon 05 groupes dont les caractéristiques sont les suivantes :[3]

- Le **groupe 1**, recensant les espèces exploitées en priorité par les concessionnaires.
- Le **groupe 2**, regroupant les espèces complémentaires exploitées de façon légales.
- Le **groupe 3**, constitué par les espèces de promotion et les espèces communes non exploitées.
- Le **groupe 4**, renfermant les espèces ayant un régime sylvicole particulier.
- Le **groupe 5**, constitué d'espèces de bourrage, ne représentant que très peu d'intérêts pour les aménagistes.

La classification ainsi réalisée, se pose le problème de la planification des périodes de coupe. En effet, les concessions forestières dotées de dimensions considérables, sont au préalable subdivisées en blocs d'exploitation, puis en d'autres parcelles plus petites appelées assiettes annuelles de coupe. Le défi des aménagistes pour y arriver est la définition des frontières de ces multiples subdivisions, tout en s'assurant d'une certaine uniformité des ressources disponibles au sein des divisions réalisées. Grâce au logiciel TIAMA, les aménagistes parviennent depuis de nombreuses années à estimer de façon plus ou moins précise les volumes des espèces exploitées. Mais celui-ci ne permet pas aux aménagistes de réaliser de véritables plans d'aménagement. Car, l'opération de classification des espèces en groupes, ainsi que celle de subdivision des concessions est toujours effectuée de façon rudimentaire par les exploitants. Ceux-ci, à partir des données d'inventaire réalisés font l'opération de classification dans des fichiers "Excel" et utilisent par la suite TIAMA pour calculer le volume exploitable. Ainsi, les plans d'aménagement réalisés par ces derniers qui ne sont par conséquent pas très fiables, ne peuvent pas être vérifiés par les organismes gouvernementaux qui en ont la charge. Ceci, dû à l'absence d'un outil convainquant dont les deux parties prenantes pourraient se servir pour le contrôle des plans d'aménagement. De plus, la gestion actuelle des concessions forestières et les règles établies par les aménagistes et les institutions gouvernementales, contrairement aux prévisions, ne permettent pas la reconstitution du massif forestier. Ainsi, au regard de ces multiples observations, plusieurs interrogations se posent :

- Comment faire en sorte que les exploitants forestiers aient une vision à long terme de l'évolution probable des ressources forestières?
- Quels moyens peut-on mettre sur pieds pour permettre aux agents environnementaux de s'assurer de la conformité des plans d'aménagement élaborés par les concessionnaires?

- Comment aider les concessionnaires à réaliser des plans d'aménagement favorisant une reconstitution du massif forestier au terme du cycle d'exploitation ?

Des éléments de réponses probants à ces questions passent par la conception, puis l'implémentation d'un logiciel d'aide à l'aménagement des concessions forestières.

## OBJECTIF

L'objectif visé par l'élaboration de ce travail est la conception et l'implémentation d'un logiciel d'aide à l'aménagement des concessions forestières, permettant l'automatisation des tâches suivantes :

- L'opération de classification des ressources répertoriées en groupes d'exploitation conformément aux critères définis dans le plan d'aménagement.
- La manœuvre de subdivision des concessions forestières en blocs d'exploitation, puis en assiettes de coupe.

## ENJEUX

Les enjeux liés à la mise sur pieds et à l'utilisation d'un tel logiciel sont de (03) trois ordres : économiques, environnementaux et sociaux.

### **Les enjeux économiques**

L'exploitation des ressources naturelles représente certainement la clé du développement socio-économique des pays africains. De ce fait l'emploi d'un logiciel d'aide à l'aménagement des concessions forestières utilisé par les aménagistes leur permettrait de garder le contrôle sur les activités menées par ceux-ci. De même, ce logiciel serait également fort utile pour les concessionnaires, qui grâce à ses fonctionnalités, pourront planifier de façon plus rentable l'aménagement des concessions qui leur sont allouées.[9]

### **Les enjeux environnementaux**

Le bassin du Congo fait partie des massifs forestiers les plus fournis en terme de biodiversité dans le monde. L'utilisation d'un logiciel semblable à celui faisant l'objet de notre travail devrait permettre non seulement aux structures de contrôle de l'exploitation forestière de s'assurer de la légalité des activités menées par les exploitants.

### **Les enjeux sociaux**

L'exploitation des ressources forestières d'un pays est une activité qui possède un impact direct sur les populations locales. En effet, cette activité affecte considérablement leur quotidien, notamment par la destruction de leur écosystème. De plus, c'est surtout une activité génératrice d'emplois et de revenus pour les populations autochtones, qui mettent leur connaissance du terrain au service des concessionnaires. L'utilisation du logiciel développé pourra servir de régulateur pour les activités des aménagistes et des autochtones

et permettra de contrôler à long terme la reconstitution des blocs forestiers exploités à l'intérieur des concessions.

## Plan du mémoire

Ce travail sera axé sur trois (03) principaux chapitres :

- Le **chapitre 1**, intitulé Etat de lieux aura pour principal objectif de présenter l'état des lieux, les concepts liés à notre étude et de recenser les éléments liés à l'établissement des plans d'aménagement par les exploitants.
- Le **chapitre 2**, dénommé Méthodologie exposera en détail notre démarche pour la mise en place de la solution
- Le **chapitre 3**, intitulé Présentation des résultats aura pour but de présenter les outils utilisés pour la mise en place de notre solution et les résultats obtenus.

CHAPITRE



## ÉTAT DES LIEUX

## **INTRODUCTION**

Comme il a été présenté précédemment, ce travail est basé sur l'automatisation et l'amélioration des opérations effectuées par les aménagistes. Ceux-ci ont pour principales missions l'étude et la planification de l'exploitation des espèces forestières répertoriées. Depuis une vingtaine d'années environ, les exploitants camerounais se servent d'un logiciel nommé TIAMA, qui leur permet de calculer les volumes des espèces exploitables recensées. Ce chapitre sera donc basé sur deux axes. Dans un premier temps nous exposerons sur le logiciel TIAMA, en présentant son mode d'installation ainsi que les multiples opérations et manipulations qu'il offre, puis nous ferons ressortir ses insuffisances et ses perspectives d'amélioration. Enfin, nous présenterons les différentes approches qui s'offrent à nous dans la mise en place de notre solution.

### **1.1 ETUDE DU LOGICIEL TIAMA**

L'aménagement des concessions forestières est depuis de nombreuses années déjà réalisé au Cameroun à l'aide d'un logiciel du nom de TIAMA. Mais celui-ci, commençant à dater, n'est plus approprié pour la problématique actuelle de préservation de la pérennité des ressources forestières. Nous nous attarderons donc sur cet outil et étudierons ses insuffisances.

### 1.1.1 PRESENTATION DE TIAMA

#### Installation

Le logiciel TIAMA a été conçu pour fonctionner uniquement sous des environnements Windows 95/98/NT. Il s'agit d'une base de données « Microsoft Access ». De ce fait, logiciel Microsoft Access doit donc être convenablement installé au préalable. L'installation se fait à partir d'un support amovible contenant le fichier exécutable **Tiama.exe**. Il s'agit d'un fichier « Self Extractor » de Winzip qui créera un répertoire du nom de **Tiama** et y installera les fichiers utiles au démarrage et au fonctionnement du logiciel. L'utilisateur est à ce moment prêt pour un premier démarrage de TIAMA en cliquant sur l'icône qui a été installée sur le bureau.

#### Présentation et fonctionnement de TIAMA

Le Menu principal du logiciel TIAMA donne accès aux fonctionnalités qu'il offre :

- Gestionnaire des projets
- Tables de références
- Données de sondage
- Données de planimétrie
- Compilation et impression

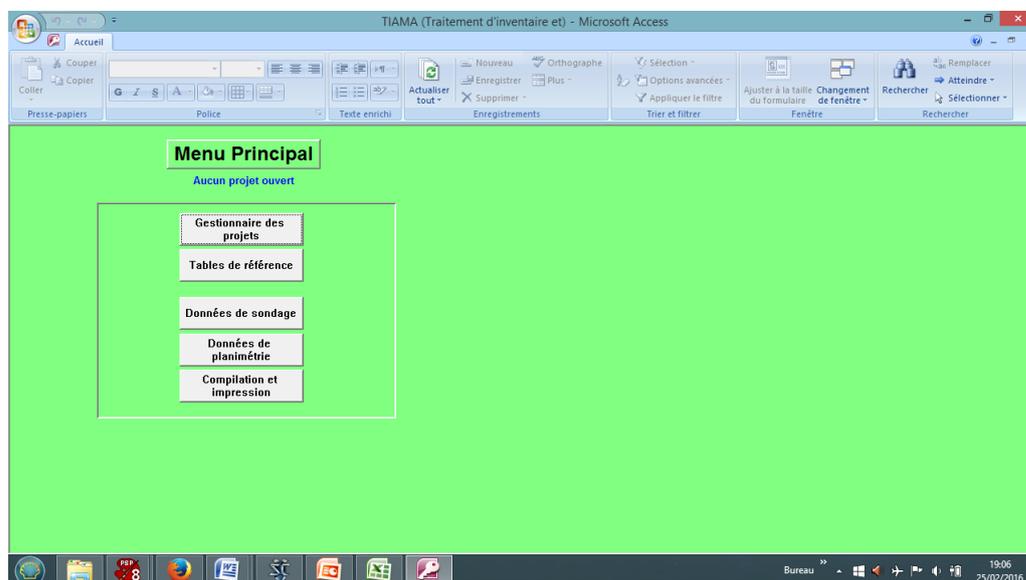


FIGURE 1.1 – Menu principal du logiciel TIAMA

### i) Gestionnaire des projets

Le Gestionnaire des projets permet de créer, modifier ou annuler un projet. L'accès aux autres fonctionnalités du logiciel est conditionné par l'ouverture d'un projet par l'utilisateur. Lorsqu'un projet est ouvert, les tables de référence ainsi que les données de sondage et de planimétrie réfèrent au projet qui est ouvert. C'est au niveau du gestionnaire des projets que doivent être saisis les renseignements généraux du projet ainsi que la phase d'inventaire qui déterminera les tarifs de cubage appliqués.

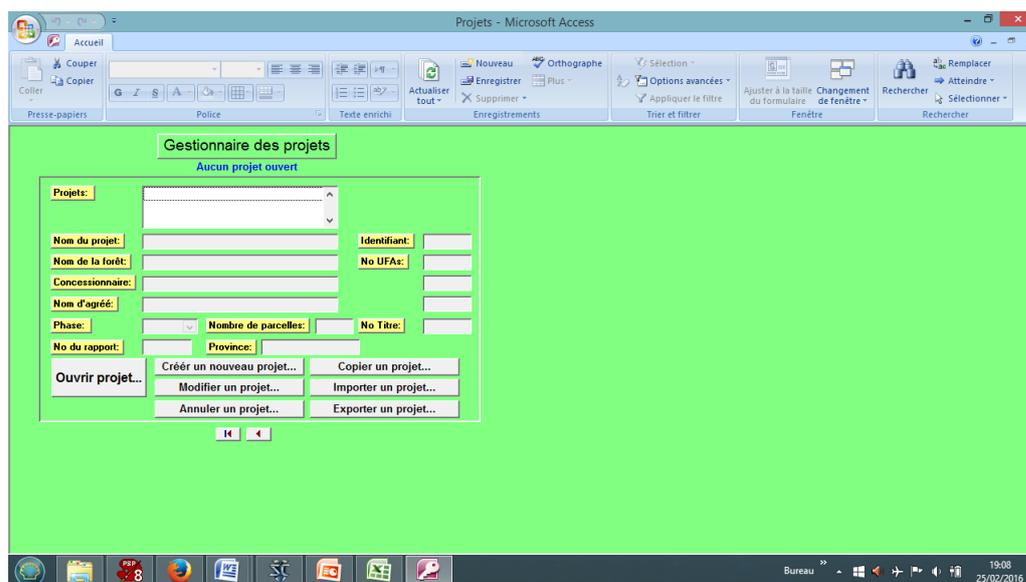


FIGURE 1.2 – Interface du menu "Gestionnaires des projets"

### ii) Tables références

C'est le menu de gestion des structures de données à enregistrer. On y retrouve la définition de toutes les tables enregistrées et utilisées par le logiciel pour le traitement des données et le stockage des résultats. Les tables suivantes y sont définies et peuvent être réécrites par les autorités forestières :

- Strates forestières
- Sous-types
- Perturbations
- Origines
- Accessibilité
- Agriculture
- Affectation

- Essences
- Groupes d'essences inventaire
- Groupes d'essences aménagement
- Tarifs de cubage

Les huit (08) premières tables sont celles qui permettent de saisir la planimétrie des strates forestières. Les autres quant à elles, concernent la définition des groupes et l'affectation des espèces par saisie dans les groupes définis.

### **iii) Données de sondage**

Le menu Données de sondage permet la définition des fiches de dénombrement par l'utilisateur. Il s'agit des fiches qui serviront de support au lors de la saisie des données d'inventaire des espèces.

### **vi) Données de planimétrie**

Ce sous-menu sert de base d'enregistrement aux calculs effectués de façon manuelle par les aménagistes concernant les limites et les surfaces des blocs d'exploitation. En effet, il s'agit d'un module de recensement des données sur la nature des types forestiers et des strates forestières, à partir desquels les exploitants se basent pour la subdivision manuelle de la concession en blocs d'exploitation et en assiettes de coupe.

### **v) Compilation et impression**

Il s'agit ici du menu d'exportation des traitements effectués sur les données d'inventaire. Le logiciel TIAMA donne la possibilité aux aménagistes d'exporter et d'imprimer les potentiels d'exploitation par blocs des concessions considérées.

## **1.1.2 INSUFFISANCES DU LOGICIEL TIAMA**

Les insuffisances pratiques sont des défauts liés plus ou moins directement à l'évolution des technologies et des méthodes utilisées. En effet, le logiciel TIAMA fût développé en 1999, en adéquation aux pratiques et aux systèmes d'exploitation disponibles. Il apparaît donc, que de nos jours, on rencontre un certain nombre de limites liées à sa distribution et à son utilisation.

### **Limites liées au déploiement**

Le logiciel est développé de sorte à fonctionner sous les environnements windows95/96/NT. Ce qui, de nos jours représente un énorme inconvénient vu que ces systèmes d'exploitation ne sont plus utilisés et sont par conséquent très peu maintenus. Ainsi, son utilisation sur les systèmes actuels s'avère être problématique pour les aménagistes, contraints d'utiliser d'anciennes versions du système windows pour pouvoir l'installer.

### Limites d'utilisation

En dehors des insuffisances de déploiement, de nombreux autres problèmes sont recensés dans la réalisation des opérations à partir de TIAMA. En effet, qu'il s'agisse du traitement des données d'inventaire, la définition des groupes d'exploitation ou l'attribution des groupes aux espèces exploitables, les défauts suivants sont perceptibles :

- **La multiplicité des données insérées par l'utilisateur** : Le logiciel TIAMA a été développé dans l'optique d'éviter une importation externe des fichiers contenant des informations utiles au fonctionnement de l'application. Ainsi, les informations liées à calibrage des données d'inventaire, ainsi que celles liées à la définition des blocs d'exploitation et des assiettes de coupe doivent être saisies manuellement par l'utilisateur. Ce qui peut s'avérer être un redondant pour les aménagistes et peut être une source de multiples erreurs et d'omissions.
- **Un long temps de compilation** : Les nombreux calculs effectués par le logiciel, bien qu'optimisés du fait de la faible mémoire des ordinateurs de l'époque prennent du temps à s'effectuer. On compte environ trente (30) minutes pour le traitement et le remplissage d'un fichier d'inventaire effectué sur mille cinq cents (1500) parcelles contenant huit cents soixante dix-huit (878) espèces. Ce qui, de nos jours peut être considérablement amélioré grâce aux nouveaux langages de programmation statistiques et mathématiques.
- **Une prise en main complexe** : La présence d'innombrables champs de saisie à remplir par l'utilisateur induit la nécessité de nombreuses séances de travail en vue de s'approprier le logiciel de façon convaincante. Ainsi, TIAMA est réservé à un groupe d'utilisateur spécialement formés pour la fonction d'aménagement des concessions. Ce qui rend difficile son utilisation par les institutions d'État dans le contrôle des résultats présentés.
- **Absence d'un processus automatique de filtrage des données d'inventaire et d'attribution des espèces** : Le module d'attribution des groupes aux espèces exploitables, tel qu'implémenté par TIAMA, permet uniquement la saisie des groupes et de leurs contenus. Ceux-ci ayant été définis préalablement par les exploitants. En effet, le logiciel TIAMA n'intègre ni un module d'importation et de filtrage des données d'inventaire, ni un module de définition automatique des groupes exploitables. De façon plus générale, il permet aux aménagistes le calcul des volumes exploitables des espèces répertoriées par blocs et par assiettes de coupe.
- **Absence d'un module de subdivision de concessions** : Enfin, on note l'absence d'un module de subdivision cartographique, qui aiderait les utilisateurs à définir les limites des multiples subdivisions devant être réalisées sur la concession. Effectivement, le logiciel n'offre la possibilité aux aménagistes que la saisie des superficies des blocs et des assiettes de coupe préalablement calculés par ceux-ci.

## 1.2 Approches possibles pour la conception de la solution

Pour combler les manquements relevés dans l'étude de l'existant, il serait judicieux dans un premier temps de produire une solution qui limite les éventuelles erreurs réalisées par un travail manuel des aménagistes, mais aussi capable de donner des estimations acceptables de volumes exploitables des espèces au sein des concessions, des blocs et des assiettes de coupe. Cela permettrait tant aux exploitants forestiers qu'au gouvernement camerounais d'estimer de façon plus précise les ressources prélevées et celles disponibles à l'intérieur. Ainsi, on pourrait ajuster l'aménagement forestier dans l'optique de garantir la pérennité des espèces.

Comme noté précédemment, l'un des points focaux de cette opération est l'estimation des ressources exploitables d'une concession à partir des données d'inventaire réalisées sur les parcelles de concessions.

Il existe plusieurs approches pour atteindre cet objectif :

### 1.2.1 Une règle simple de proportionnalité

Il s'agit de l'approche traditionnelle. A partir des données d'inventaire réalisées sur les parcelles, on établit grâce à un ratio de surfaces l'estimation des données d'inventaire à l'échelle de la concession.

#### 1.2.1.1 Avantages

- les calculs sont simples et rapides à effectuer ;
- Solution facile à concevoir et à implémenter ;

#### 1.2.1.2 Inconvénients

- Précision très réduite dans le cas de l'existence de plusieurs UFA au sein d'une même concession. Ce qui rend la distribution des espèces d'arbres non uniforme ;

### 1.2.2 Interpolation par la méthode des Volumes Finis en dimensions 2

En analyse numérique, la méthode des volumes finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles. Plus précisément, appliquée en dimension 2, elle permet de façon générale d'interpoler la valeur d'une fonction à l'intérieur d'un élément de surface à partir de la valeur de cette fonction en un point de la surface.

De façon plus précise, l'utilisation de cette méthode d'interpolation dans les circonstances du projet revient à considérer l'ensemble des parcelles d'inventaire comme étant une distribution discrète d'éléments sur la surface définie par la concession ; puis à définir autour de ces éléments ponctuels des mailles d'intégration.

### 1.2.2.1 Avantages

- Permet d'extrapoler les valeurs d'un ensemble discret de points en des valeurs sur un ensemble continu.
- Présence de nombreux problèmes d'estimation résolus de façon mathématiquement acceptables par son utilisation.

### 1.2.2.2 Inconvénients

- Obligation d'avoir une équation aux dérivées partielles pour la fonction à interpoler. Dans notre cas, il s'agit de la fonction représentant la densité de répartition des espèces d'arbres dans une forêt.
- Gros problème de définition des mailles au niveau des bords.

## 1.2.3 Approximation par la méthode de Tésselement de Voronoï

En mathématiques, un diagramme de Voronoï est un pavage (découpage) du plan en cellules (régions adjacentes) à partir d'un ensemble discret de points appelés « germes ». Chaque cellule enferme un seul germe, et forme l'ensemble des points du plan plus proches de ce germe que d'aucun autre. La cellule représente en quelque sorte la « zone d'influence » du germe.

En ce qui concerne notre problème d'estimation des données d'inventaire au niveau de la concession, le diagramme de Voronoï pourrait être construit sur la base des parcelles d'inventaire, considérées comme centre des cellules. La cellule définie autour de chaque parcelle étant considérée comme zone d'influence de la parcelle ayant ainsi les mêmes propriétés à la surface.

### 1.2.3.1 Avantages

- Permet le découpage de toute la concession en cellule.
- Aucun problème de définition des cellules au niveau des bords; chaque espèce n'étendant pas son influence à l'extérieur du domaine d'étude.
- Méthode optimisable avec la connaissance des Unités Forestières d'Aménagement rencontrés à l'intérieur de la concession. Frontières des cellules aisément définissables mathématiquement.

## 1.3 Positionnement

Au vu des solutions pour l'approximation des données d'inventaire à l'échelle de la concession, il ressort que l'utilisation d'une tésselement de Voronoï soit la plus indiquée

dans ce contexte. En effet, le fait qu'elle ne nécessite aucune connaissance particulière concernant la fonction de distribution des espèces, et qu'elle soit facilement améliorable en font la meilleure option pour la conception de nos modules de classification des espèces et de subdivision des concessions.

## **BILAN DU CHAPITRE**

Dans ce chapitre il était question de prime abord de présenter le logiciel TIAMA, actuellement utilisé par les aménagistes camerounais pour effectuer les différentes opérations entrant dans l'élaboration d'un plan d'aménagement de concession. Pour ce faire, nous avons consécutivement présenté sa méthode d'installation, mis en évidence les modules et les services qu'il offre et présenté les limites actuelles de son utilisation et la nécessité du développement d'une solution plus moderne. Il était également question pour nous de mettre en évidence quelques unes des méthodes et approches mathématiques pouvant être utilisées pour atteindre un de nos objectifs, qui est d'obtenir une estimation des données d'inventaire à l'échelle de la concession. Nous avons donc mis en évidence ces approches, avons fait ressortir les avantages et les inconvénients de chacune d'elle. Nous enfin terminé en optant pour un choix de conception et d'implémentation basé sur un jumelage de deux des méthodes présentés.

CHAPITRE



## MÉTHODOLOGIE

## INTRODUCTION

L'élaboration de notre logiciel d'aménagement des concessions est l'aboutissement d'une méthodologie rigoureuse en termes de recherche et de livrables dans le temps. Dans le cadre de notre travail, nous avons adopté :

- Une méthode de développement de génie logiciel : la méthode Scrum. C'est une méthode agile qui s'appuie sur le découpage du projet en itérations.
- Une méthode d'approximation surfacique : la décomposition de Voronoï. C'est un découpage du plan en régions adjacentes à partir d'un ensemble discret de points

La mise en place de cet outil a requis l'implémentation d'un module de classification des espèces exploitées, et d'un module de traitement cartographique de subdivision de concessions. Ce chapitre présente l'analyse des besoins de l'outil, l'étude des contraintes et sa conception. La phase d'analyse s'est conclue par l'élaboration des diagrammes des cas d'utilisation et d'activités. La phase de conception quant à elle, a permis de réaliser les diagrammes de séquences techniques, les différentes architectures ainsi que les structures de données qui seront implémentées et utilisées par le logiciel.

## 2.1 Analyse

### 2.1.1 Rappel de l'état des lieux

- **Objectif**

Partant d'une étude des activités menées tout au long de la phase préparatoire de l'aménagement d'une concession, notre objectif consiste à développer un logiciel prêt à l'emploi qui sera utilisé par les entreprises d'exploitation forestière, et qui leur permettra d'accomplir deux objectifs majeurs : **o** Traiter automatiquement les fichiers d'inventaire et classer aisément les espèces recensées en groupes d'exploitation. **o** Effectuer la subdivision de la concession en blocs d'exploitation, puis en assiettes de coupe.

- **Description de l'existant**

Les opérations de classification et de subdivision sont actuellement effectuées de façon partielle à l'aide du logiciel TIAMA. Il s'agit d'un logiciel spécialement conçu pour l'aménagement des concessions forestières du Cameroun. Il permet le calcul des possibilités forestières et aide également les aménagistes dans le calcul du contenu des blocs d'exploitation. Mais il ne permet ni d'effectuer les répartitions des espèces en groupes d'exploitation, ni d'automatiser la subdivision en blocs et en assiettes de coupe.

### 2.1.2 Exigences fonctionnelles

Le logiciel DafSecc qui fait l'objet de notre travail a un double objectif. Premièrement traiter les données d'inventaire obtenues afin de permettre la classification des espèces inventoriées, deuxièmement accompagner les aménagistes lors du découpage de la carte de la concession en blocs et en assiettes de coupe. Nous pouvons par conséquent distinguer deux grands groupes de fonctionnalités :

**Les fonctionnalités liées au traitement des données d'inventaire et à la classification des espèces répertoriées pour l'exploitation.**

Elles consistent à fournir à l'utilisateur la possibilité d'effectuer les traitements de fichiers d'inventaires, et de lui permettre de réaliser des combinaisons possibles d'espèces dans la formation des groupes d'exploitation. Les opérations menées par les aménagistes peuvent être décrites comme il suit. De prime abord, ils définissent dans le sens de la longueur une droite qui la traversera la concession de part en part. Puis, dans le sens de la largeur et à des intervalles réguliers, ils définissent des layons secondaires. Ceci fait, le long de ces layons secondaires seront créés des parcelles d'inventaire. C'est à l'intérieur des parcelles ainsi définies que seront prises les données d'inventaire. Ces données d'inventaires, prise sur une surface d'échantillonnage équivalent à 1% de celle de la concession, doivent être à partir d'estimations mathématiques étendues à toute la surface de celle-ci. Ceci fait on dispose alors d'une connaissance approximative des effectifs d'arbres présents sur toute la concession. Par la suite, le travail des exploitants consiste à classer les espèces recensées en (05) cinq catégories, dont les détails sont les suivants :

- **Le Groupe 1** : C'est le groupe des essences exploitées en priorité. Les espèces, pour pouvoir appartenir à ce groupe doivent remplir un certain nombre de critères. Elles doivent : - Appartenir à la liste du top 50. Il s'agit de la liste des 50 espèces autorisées à l'exploitation sur le territoire camerounais, - Posséder une densité supérieure ou égale à 0.05tiges/ha pour les tiges ayant un diamètre supérieur ou égal à 20 cm, - Avoir un Diamètre Minimal d'Aménagement (DMA) supérieur au Diamètre Minimal d'Exploitation (DME) et permettant un taux de reconstitution du stock supérieur à 50% en 30 ans.
- **Le Groupe 2** : C'est le groupe des essences complémentaires exploitées de façon légale. Elles sont également soumises à un certain nombre de contraintes : - Appartenir à la liste du top 50. Il s'agit de la liste des 50 espèces autorisées à l'exploitation sur le territoire camerounais, - Posséder une densité supérieure ou égale à 0.05tiges/ha pour les tiges ayant un diamètre supérieur ou égal à 20 cm.
- **Le Groupe 3** : Il s'agit d'un groupe constitué par les essences de promotion ou espèces communes non exploitées
- **Le Groupe 4** : Ici on retrouve des essences d'arbres ayant un régime sylvicole particulier, ainsi que les espèces faisant partie du Top50, mais ayant une densité inférieure à 0.05 tiges/ha. Les espèces d'arbre appartenant ne sont également pas exploitées.
- **Le Groupe 5** : Groupe constitué des essences de bourrage qui ne sont pas concernées par l'exploitation forestières car ne présentant que très peu d'intérêt pour les aménageurs. L'analyse des différents groupes permet de ressortir que seules les espèces de groupe 01 et 02 sont concernées par l'exploitation. Ainsi, il serait possible d'opérer une classification en seulement 03 groupes. Les deux premiers équivalents aux des groupes d'espèces exploitables, et le troisième contenant toutes les espèces d'arbres qui ne remplissent pas les critères d'admission aux deux premiers groupes. Ceci dit, le logiciel devra permettre de :
  - Etablir un récapitulatif des données d'inventaire en regroupant les espèces répertoriées par effectifs par classes de diamètres.
  - Calculer une estimation des ressources disponibles à l'échelle de la concession en fonction des données d'inventaire.
  - Calculer automatiquement les DMA des espèces du TOP50 permettant de les mettre dans le Groupe 1.
  - Permettre à l'utilisateur de classer interactivement les espèces dans les groupes et d'avoir automatiquement les informations sur les ratios autorisés entre les espèces des groupes 01 et 02, qui définissent si la classification est conforme.
  - Pouvoir exporter les données de classification sous un format choisi.
  - Pouvoir revenir sur les classifications effectuées précédemment et y effectuer des modifications. /end

### **Les fonctionnalités liées à la subdivision des concessions en blocs d'exploitation puis de coupe**

- Les concessions forestières sont des étendues de forêts de dimensions extrêmement grandes. L'exploitation au sein d'une concession étant attribuée à un groupe sur une durée de 30 ans, ceux-ci la subdivisent en 06 blocs, qui seront chacun exploités sur une période de 05 ans. Ces blocs à leur tour seront subdivisés en 05 assiettes annuelles de coupe. L'objectif est de ce fait de définir ces limites en utilisant des estimations mathématiques, afin de produire des blocs et des assiettes de coupes ayant des volumes exploitables sensiblement égaux. Dans cette section, nous donnons la possibilité à l'aménagiste de subdiviser automatiquement la concession et, s'il le souhaite, d'ajuster les contours des découpes effectuées. Le logiciel devra de ce fait permettre :
  - Visualiser la subdivision ainsi effectuée et pouvoir exporter les fichiers correspondant.
  - Permettre à l'utilisateur de retoucher manuellement la subdivision et recalculer automatiquement les indicateurs permettant de valider la subdivision.

#### **2.1.3 Exigences non-fonctionnelles**

- un guide d'utilisation doit être mis à la disposition des utilisateurs;
- Le logiciel doit comporter une interface graphique conviviale et facile d'utilisation;
- Le logiciel doit pouvoir fonctionner de façon autonome chez un utilisateur quelconque.

### 2.1.4 Recensement des contraintes

Les contraintes servent de critères de définition des architectures. Elles sont de deux natures, à savoir : les contraintes exprimées et les contraintes existantes.

- Les **contraintes existantes** : extraites des besoins fonctionnels de l'utilisateur. Dans notre cas, elles concernent la modularité du logiciel, qui est destiné à intégrer un logiciel de prédiction et de simulation de la dynamique forestière toujours développé dans le cadre du projet P3FAC.
- Les **contraintes exprimées** : celle que nous avons pu recenser est liée au langage de programmation utilisé pour le développement du logiciel de simulation qui sera couplé avec notre solution. Le langage de programmation utilisé est R, compte tenu de sa puissance dans les traitements statistiques. Etant donné la nature des traitements effectués dans le module de classification et de subdivision, et compte tenu du large éventail du langage R pour ce qui est des bibliothèques de traitement statistique et cartographique, il serait judicieux de poursuivre le travail en adoptant ce langage.

### 2.1.5 Les cas d'utilisation

#### 2.1.5.1 Identification des acteurs

Dans notre système, nous ne faisons pas de différence entre les acteurs. Qu'ils soient des exploitants forestiers, scientifiques ou membres de l'administration forestière d'un Etat, ils peuvent tous avoir accès à toutes les fonctionnalités de notre logiciel. C'est pour cette raison que dans notre système, lorsque nous désignerons un acteur, nous l'appellerons simplement « utilisateur ».

#### 2.1.5.2 Identification des cas d'utilisation

Un cas d'utilisation est un exemple d'utilisation du système. Un objectif pour lequel un utilisateur peut être amené à démarrer le logiciel. Nous donnerons dans cette section une description détaillée de tous nos cas d'utilisation accompagnée de leur représentation graphique :

TABLE 2.1 – Module Classification :Cas d'utilisation

Cas d'utilisation	Description
Effectuer une nouvelle classification	Un utilisateur aimerait créer des classifications d'espèces en groupes d'exploitation. il charge au préalable le fichier contenant les données d'inventaire, qui sont traitées et filtrées selon les critères d'admissibilité dans les groupes. Puis, la main lui est donnée pour l'affectation des données dans les groupes. ;
Visualiser les classifications effectuées	Un utilisateur voudrait avoir les détails sur toutes les classifications effectuées sur une ou sur toutes les concessions.
Modifier une classification	Un utilisateur souhaiterait revenir sur une classification pour y faire des ajustements. <ul style="list-style-type: none"> <li>• voir l'état des importation/génération/exportation.</li> </ul>

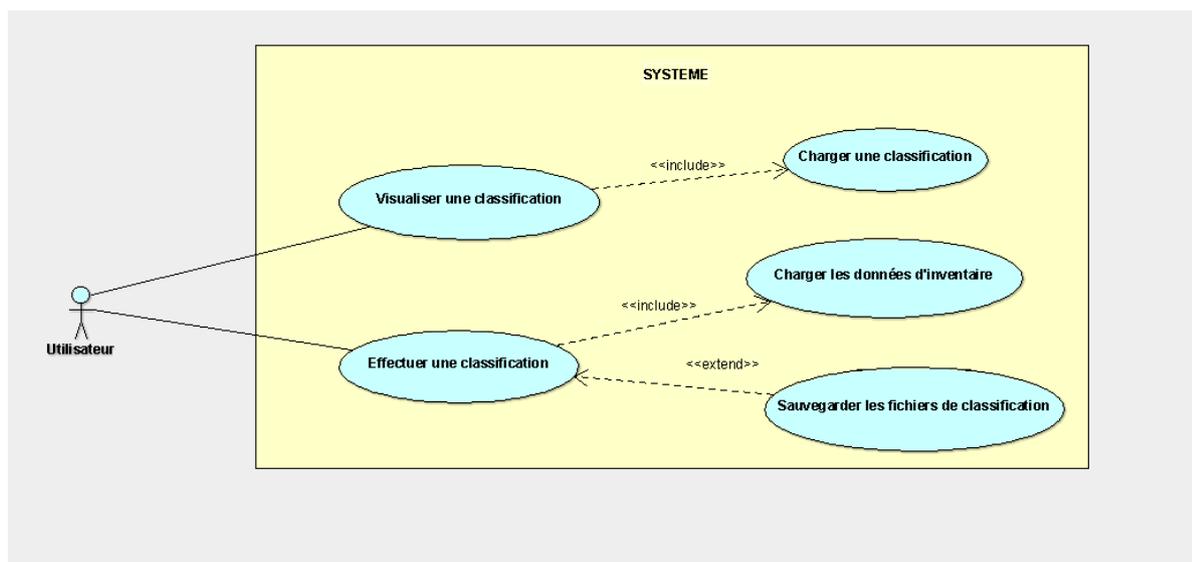


FIGURE 2.1 – Diagramme des cas d'utilisation : Module Classification

TABLE 2.2 – Module Subdivision :Cas d'utilisation

Cas d'utilisation	Description
Générer une nouvelle subdivision en blocs / assiettes de coupe	Un utilisateur voudrait que le logiciel lui fournisse un découpage précis de la concession en blocs ou en assiettes de coupe, respectant les contraintes d'exploitation.
Visualiser une subdivision en Bloc / assiettes de coupe	Un utilisateur souhaiterait visualiser en détails une subdivision effectuée sur une concession.
Ajuster manuellement une subdivision	Un utilisateur peut juger que la subdivision automatique effectuée par le logiciel ne lui convient pas totalement, et il décide d'ajuster des paramètres qui régissent la subdivision.

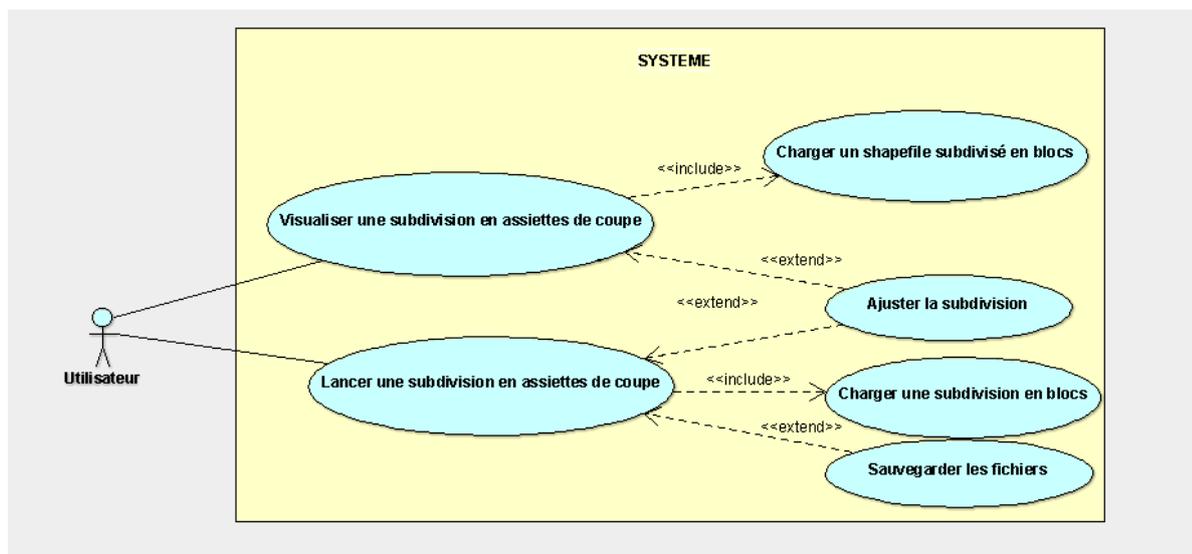


FIGURE 2.2 – Diagramme des cas d'utilisation : Module Subdivision en Blocs

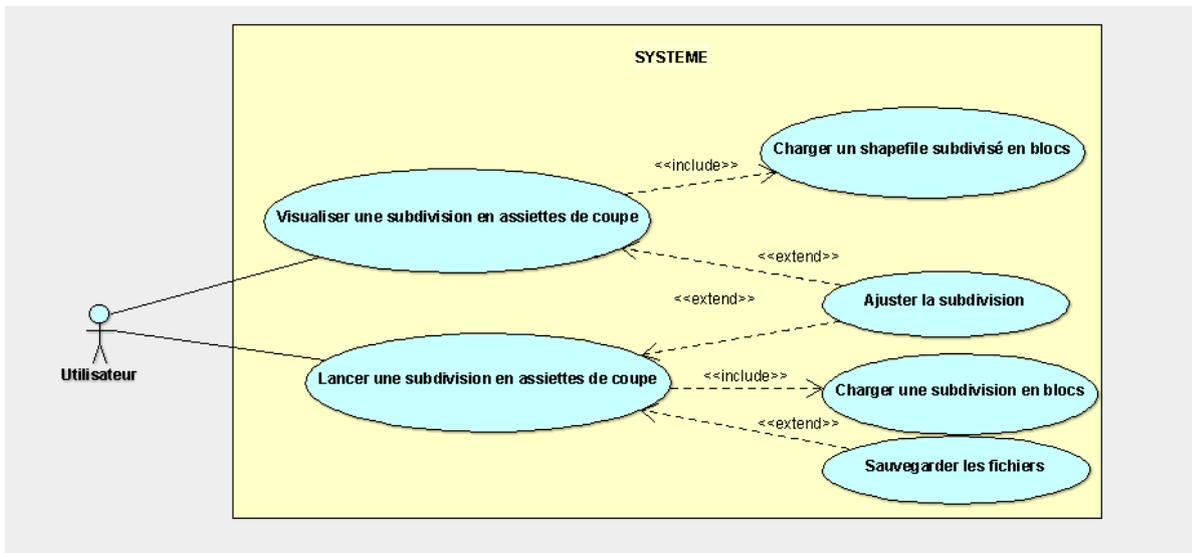


FIGURE 2.3 – Diagramme des cas d’utilisation : Module Subdivision en AC

### 2.1.6 Workflow ou Diagrammes d'activité

Il s'agit de schémas ou graphiques, représentant les différentes étapes à traverser lors de la réalisation d'un cas d'utilisation.

#### Gestion des Classifications

Ce cas d'utilisation renferme les sous cas suivants :

- **Créer une nouvelle subdivision** : L'utilisateur rentre le fichier contenant les données d'inventaire. Celui-ci est analysé pour savoir s'il est bien valide. Si c'est le cas, l'utilisateur peut débiter la répartition des espèces dans les groupes 1 et 2. Le groupe 3 étant défini automatiquement par le système, qui trie de façon dynamique les espèces du fichier ne pouvant pas être éligibles pour les groupes 1 et 2. Une fois la classification effectuée, il peut exporter un fichier csv contenant les détails de la classification nouvellement créée.
- **Modifier une classification** : L'utilisateur souhaite revenir sur une classification précédemment effectuée. Il charge donc le fichier csv de ladite classification et après avoir validé, peut commencer la modification.

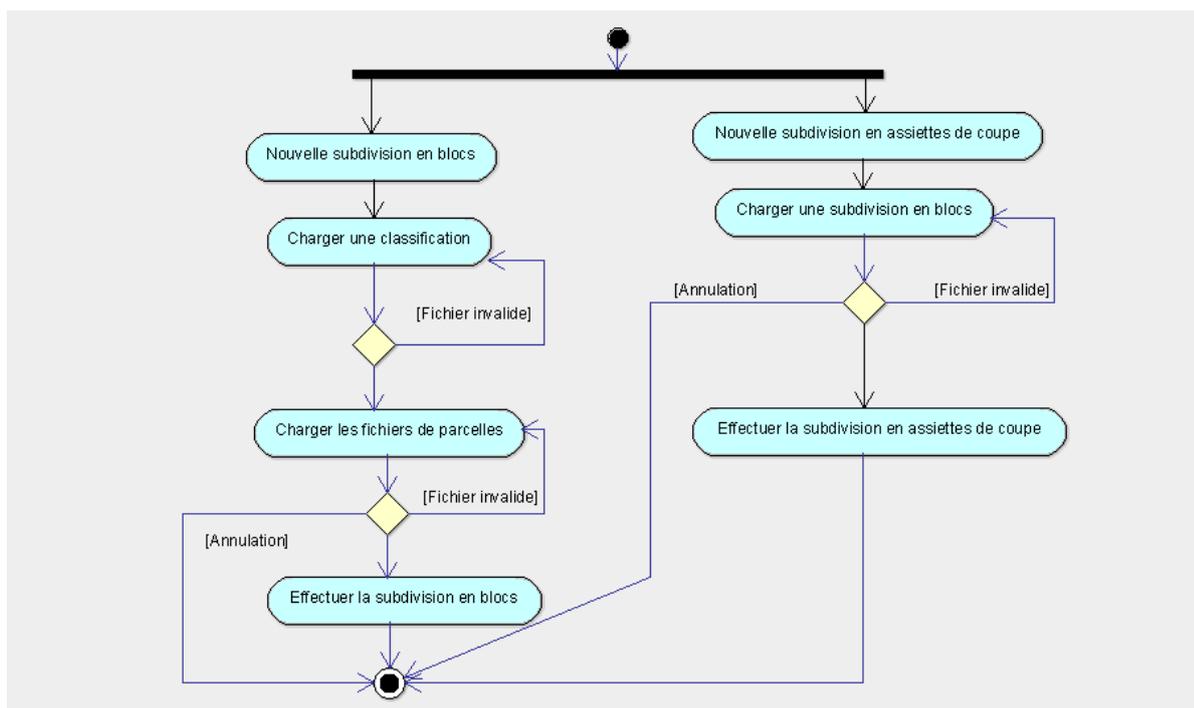


FIGURE 2.4 – Diagramme d'activités : Gestion des Classifications

**Gestion des Subdivisions**

Ce cas d'utilisation renferme les sous cas suivants :

- **Effectuer une subdivision en blocs** : L'utilisateur charge tour à tour un fichier de classification (car la subdivision se fait en utilisant des données de classification) et un fichier de parcelles (contenant les données relatives à l'identité des parcelles). Ceux-ci devront obéir à des règles de formations bien précises. Dans le cas où ils sont bien formés, les fichiers sont acceptés et l'utilisateur peut lancer la subdivision.
- **Modifier une subdivision en blocs** : L'utilisateur décide de redéfinir manuellement les frontières d'un ou de plusieurs blocs, puis de recalculer automatiquement leurs paramètres.
- **Effectuer une subdivision en assiettes de coupe** : L'utilisateur charge un fichier de blocs (produit lors d'une subdivision en blocs effectuée antérieurement), puis un fichier de pavés (qui est également produit lors d'une subdivision en blocs). Puis il peut lancer la subdivision en assiettes de coupe, qui s'effectue de façon automatique.
- **Modifier une subdivision en blocs** : L'utilisateur décide de redéfinir manuellement les frontières d'une ou de plusieurs assiettes de coupe, puis de recalculer automatiquement leurs paramètres.

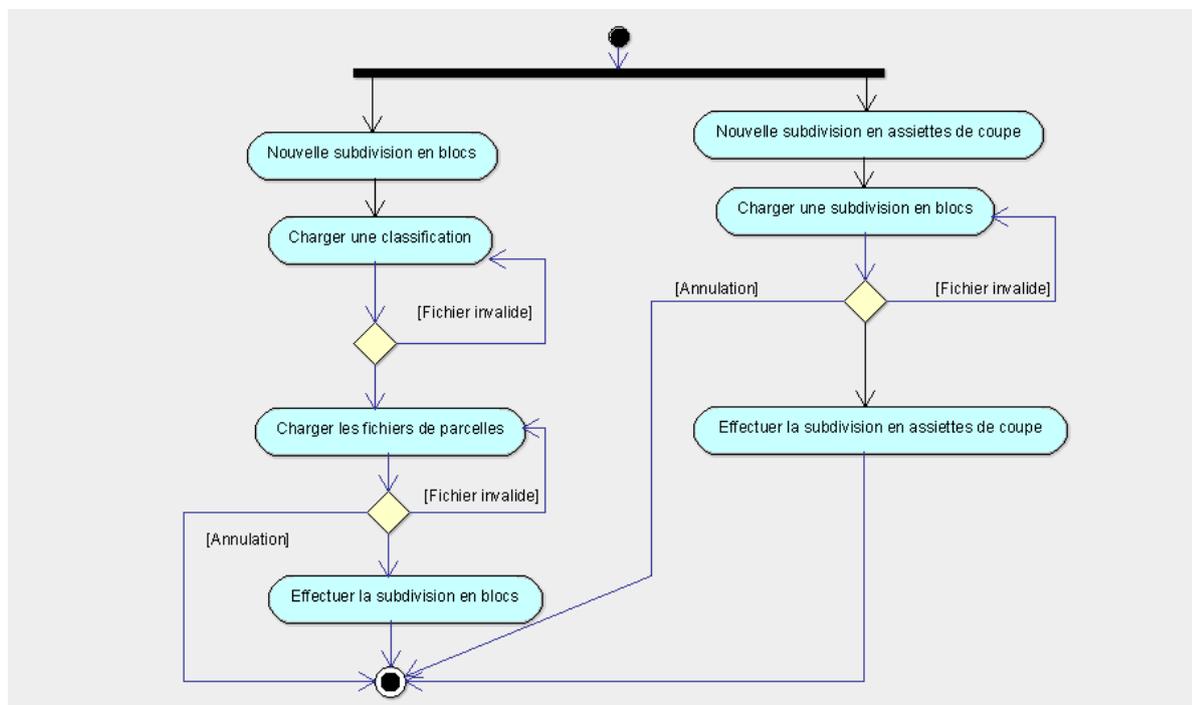


FIGURE 2.5 – Diagramme d'activités : Gestion des Subdivisions

## 2.2 CONCEPTION

### 2.2.1 Architecture de la solution

- **Architecture applicative de la solution :**

La solution proposée utilise un ensemble de données dont disposent les aménagistes : les données d'inventaire et les données cartographiques. Celles-ci sont exploitées et traitées par l'utilisateur par le biais d'un système de gestion des données. Les données issues des traitements effectués par l'utilisateur sont stockées dans des structures de données propres au langage R. De plus, certains fichiers standards sont générés pour permettre la visualisation par d'autres logiciels. La figure suivante représente l'architecture applicative de la solution proposée.

**Les données collectées :** Elles représentent les données issues de l'inventaire des ressources, ainsi que les données géographiques des concessions et des parcelles.

**Le système de validation des données :** Il s'agit d'un ensemble de méthodes dont le but est de vérifier la structure des fichiers insérées, ainsi que la viabilité des valeurs insérées par l'utilisateur.

**Le gestionnaire de classifications** Il représente le bloc chargé du traitement des données d'inventaire, leur approximation au rang de la concession, ainsi que de tous les processus liés à la classification des espèces en groupes d'exploitation.

**Le gestionnaire de subdivisions** Il représente le bloc chargé d'effectuer les opérations sur les subdivisions en blocs et en assiettes de coupes. Il intègre un ensemble de bibliothèques et d'interfaces qui implémentent les traitements cartographiques et mathématiques pour permettre une subdivision automatique par assistance manuelle des concessions.

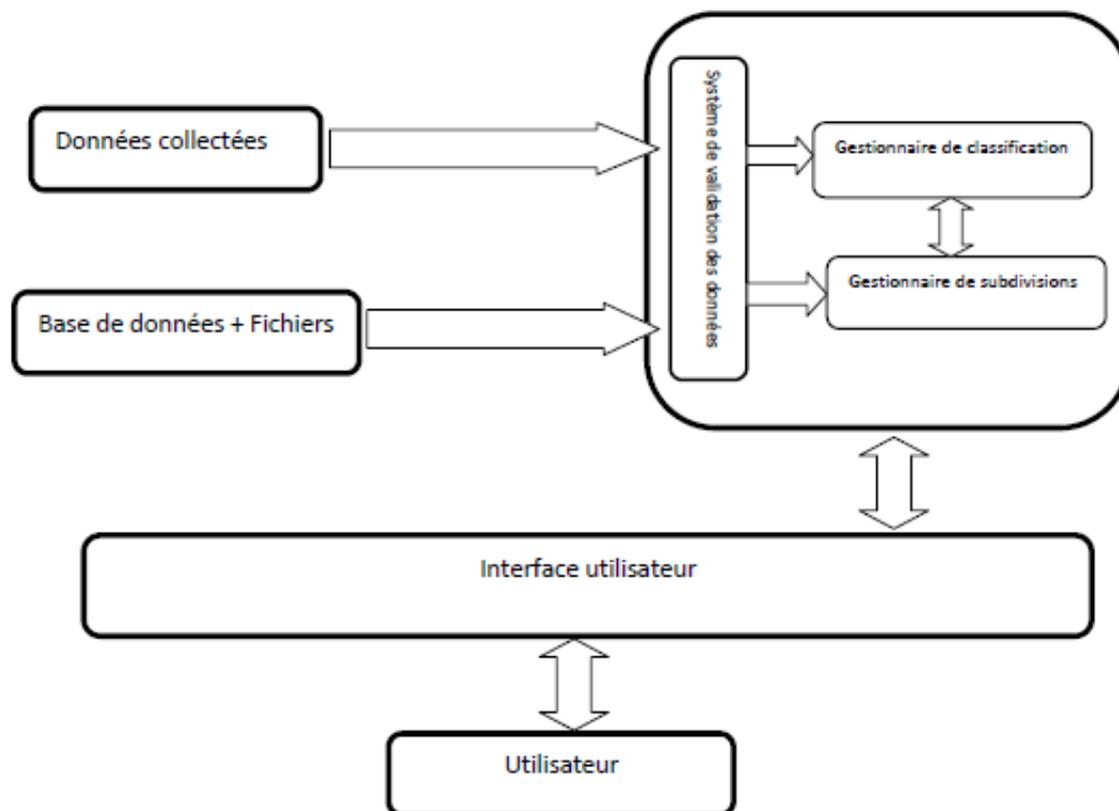


FIGURE 2.6 – Architecture applicative de la solution

- **Architecture logicielle :**

En nous inspirant de l'architecture Modèle-Vue-Contrôleur (MVC), et des multiples blocs de notre architecture applicative, notre solution peut être représentée de manière logicielle par une architecture constituée de 3 grandes couches : - **La couche de présentation** : Il s'agit de la couche visible du logiciel. Elle interagit avec l'utilisateur, prend en compte ses demandes et lui présente les résultats issus des traitements effectués. - **La couche de traitement** : Elle représente la couche intermédiaire entre la couche de traitements et le système de stockage des données. Elle est chargée de vérifier l'intégrité des données lors de leur transition de la couche de traitements vers le système de stockage et vice versa.

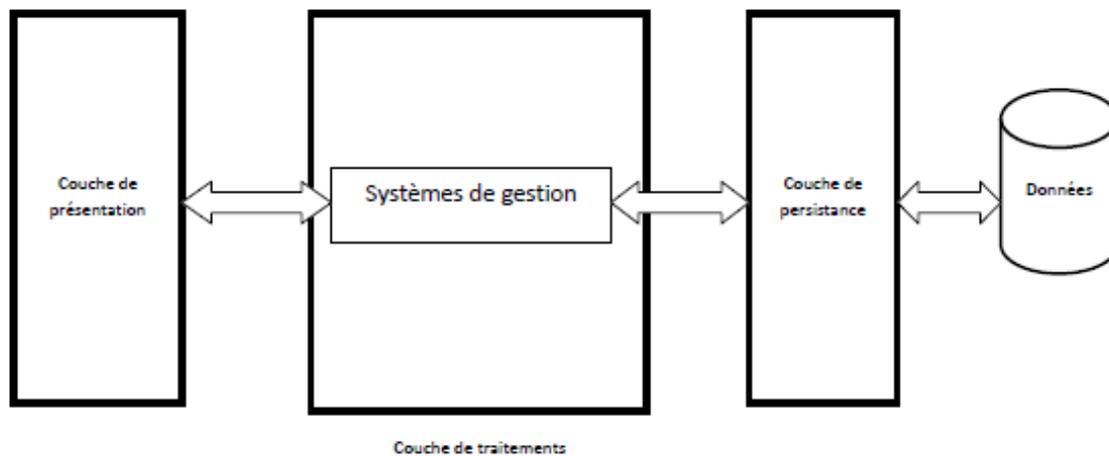


FIGURE 2.7 – Architecture logicielle de la solution

• **Architecture physique**

Dans un soucis de mettre en place une solution pouvant s’exécuter tant bien en local sur un PC, qu’en mode distribué entre plusieurs utilisateurs, nous avons opté pour une architecture physique client-serveur en utilisant un serveur web pour desservir les pages web de notre logiciel, un serveur de base de données, et un serveur de fichiers pour stocker les fichiers de l’application. Les utilisateurs via un réseau pourront accéder à notre application, en passant par le serveur web. Cette architecture peut aussi être déployée en local, en y installant tous les outils nécessaires pour le fonctionnement de l’architecture.

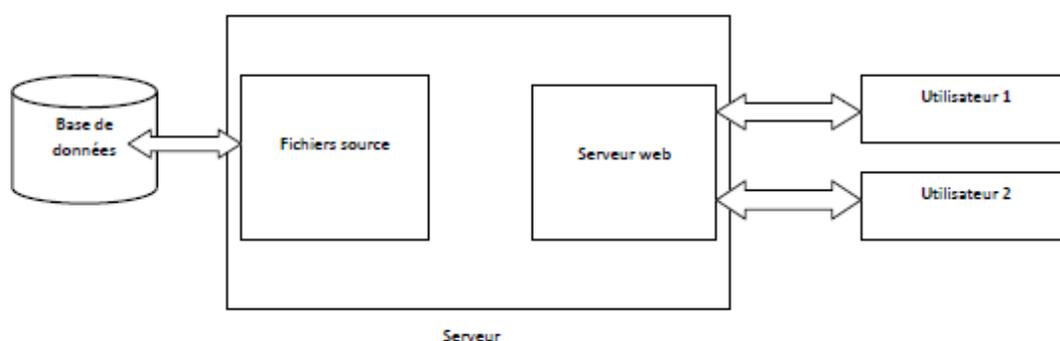


FIGURE 2.8 – Architecture physique de la solution

### 2.2.2 Modélisation des données

TABLE 2.3 – Définition et description des classes

Classes	Description
Concession	La classe représentant une concession forestière;
Classification	La classe représentant une classification effectuée sur une concession
Groupe	La classe représentant un groupe d'espèces issu d'une classification.
Espèce	La classe représentant une espèce d'arbre exploitée.
Layon	La classe représentant un layon sur lequel sont situées des parcelles d'inventaire.
Parcelle	La classe représentant une parcelle d'inventaire.
Pavé	La classe de base du morcellement en pavés, qui précède les subdivisions.
Bloc	La classe représentant un bloc d'exploitation.
AC	La classe représentant une assiette de coupe.

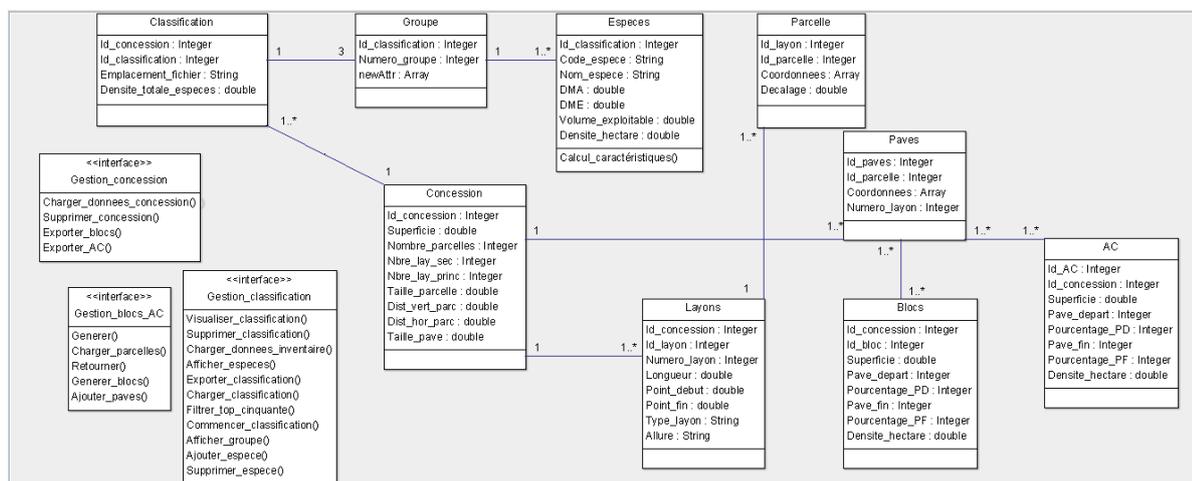


FIGURE 2.9 – Diagramme de classe global de la solution

### 2.2.3 Fonctionnement du système et interactions

La description détaillée du fonctionnement du système passe par la réalisation et l'explication des diagrammes de séquence technique. Il s'agit de graphiques qui mettent en évidence les échanges internes qui se produisent entre les classes techniques lors de la réalisation d'un cas d'utilisation. Ceci dit, nous utiliserons un diagramme de séquence pour illustrer chaque cas d'utilisation.

- **Créer une classification**

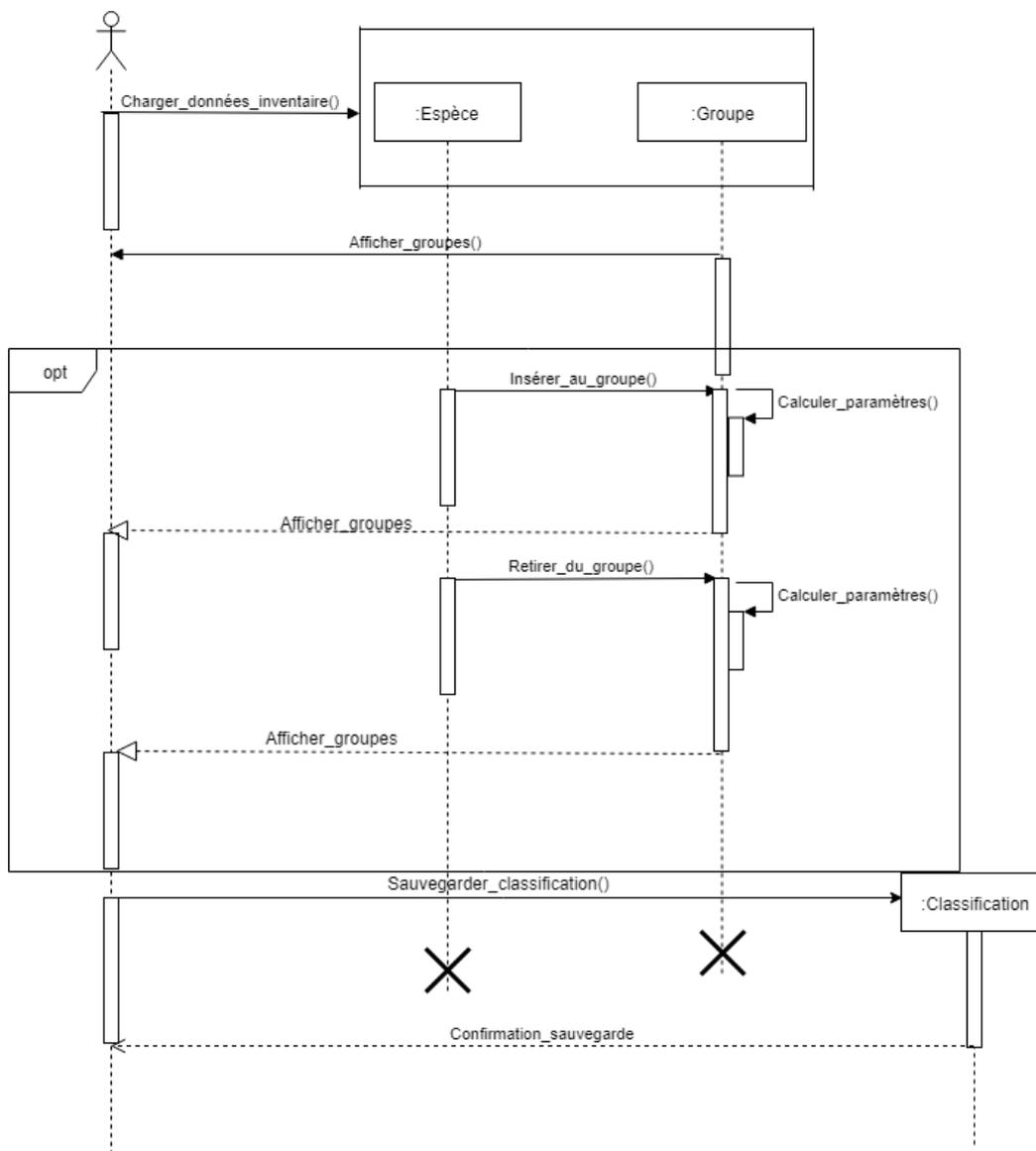


FIGURE 2.10 – Diagramme de séquences : Effectuer une classification

TABLE 2.4 – Détails sur le diagramme de séquences : Effectuer une classification

<b>Détails sur les fonctions et signaux du diagramme</b>	
Charger_classification()	Fonction qui initialise les objets Espèce et Groupe à partir d'un fichier contenant une classification sauvegardée;
Afficher_groupes()	Signal d'affichage instantané de la constitution de chaque groupe.
Insérer_au_groupe()	Méthode de la classe "Groupe" qui insère une espèce donnée à un groupe choisi.
Calculer_paramètres()	Fonction de calcul automatique des paramétrages liés à chaque groupe.
Retirer_du_groupe()	Méthode de la classe "Groupe" qui retire une espèce donnée à un groupe choisi.
Sauvegarder_Classification()	Méthode de la classe "Classification" qui crée un objet de type "Classification" et stocke les données propres à ladite classification dans des fichiers.
Confirmation_sauvegarde	Message de confirmation de la réussite de la sauvegarde.

• **Modifier une classification**

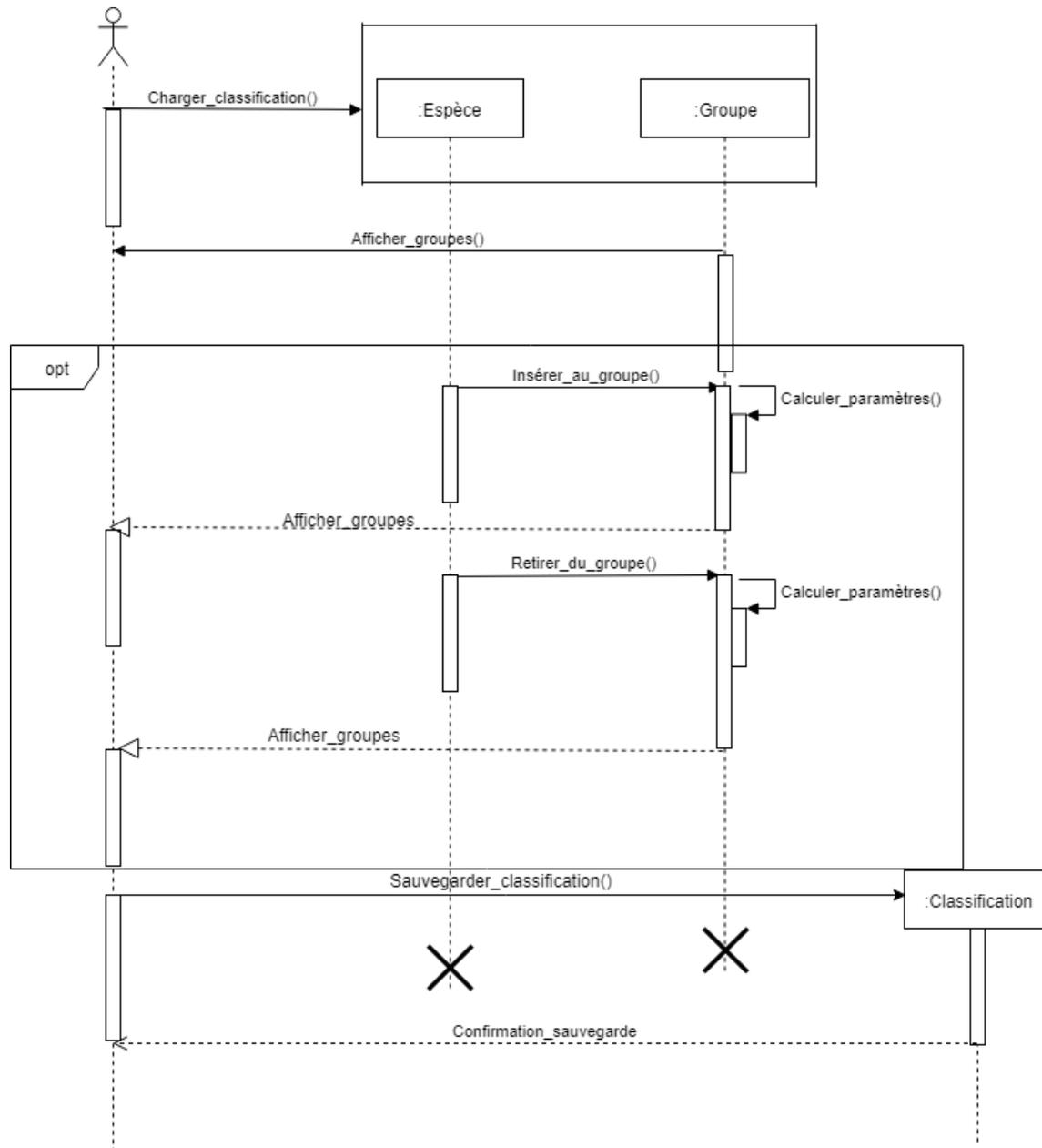


FIGURE 2.11 – Diagramme de séquences : Modifier une classification

TABLE 2.5 – Détails sur le diagramme de séquences : Modifier une classification

<b>Détails sur les fonctions et signaux du diagramme</b>	
Charger_classification()	Fonction qui initialise les objets "Espèce" et "Groupe" à partir d'un fichier contenant une classification sauvegardée;
Afficher_groupes()	Signal d'affichage instantané de la constitution de chaque groupe.
Insérer_au_groupe()	Méthode de la classe "Groupe" qui insère une espèce donnée à un groupe choisi.
Calculer_paramètres()	Fonction de calcul automatique des paramétrages liés à chaque groupe.
Retirer_du_groupe()	Méthode de la classe "Groupe" qui retire une espèce donnée à un groupe choisi.
Sauvegarder_Classification()	Méthode de la classe "Classification" qui crée un objet de type "Classification" et stocke les données propres à ladite classification dans des fichiers.
Confirmation_sauvegarde	Message de confirmation de la réussite de la sauvegarde.

• **Créer une subdivision en blocs**

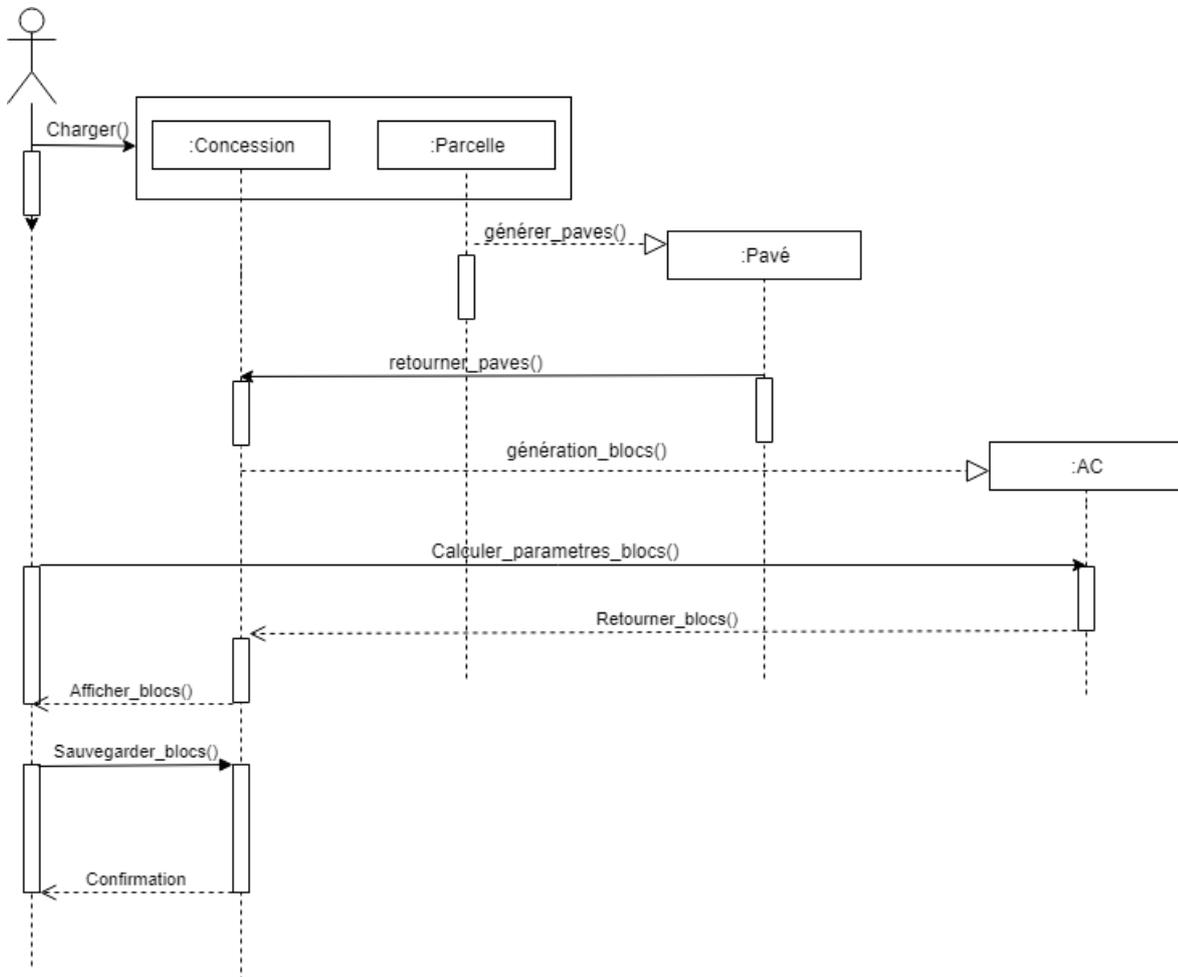


FIGURE 2.12 – Diagramme\_de\_séquences : Effectuer une subdivision en Blocs

TABLE 2.6 – Détails sur le diagramme de séquences : Effectuer une subdivision en Blocs

<b>Détails sur les fonctions et signaux du diagramme</b>	
charger()	Méthode de la classe « Concession », qui permet de charger la concession choisie par l'utilisateur pour effectuer la subdivision ;
generer_paves()	Méthode de la classe « Paves », qui crée des objets de type pavé en se basant sur les objets de type parcelle qui viennent d'être créés.
Génération_blocs()	Méthode de la classe « Blocs », qui crée des objets de type bloc.
Calculer_paramètres_blocs()	Méthode de la classe « Bloc » qui permet à l'utilisateur de modifier manuellement le contenu d'un bloc et de recalculer ses paramètres.
Afficher_blocs()	Signal caractérisé par l'affichage de la carte subdivisée à l'écran
Sauvegarder_blocs()	Méthode de la classe « Concession » qui stocke dans un fichier l'état actuel d'une subdivision en blocs.
Confirmation	Message de confirmation de l'effectuation de la sauvegarde.

• Visualiser une subdivision en Blocs

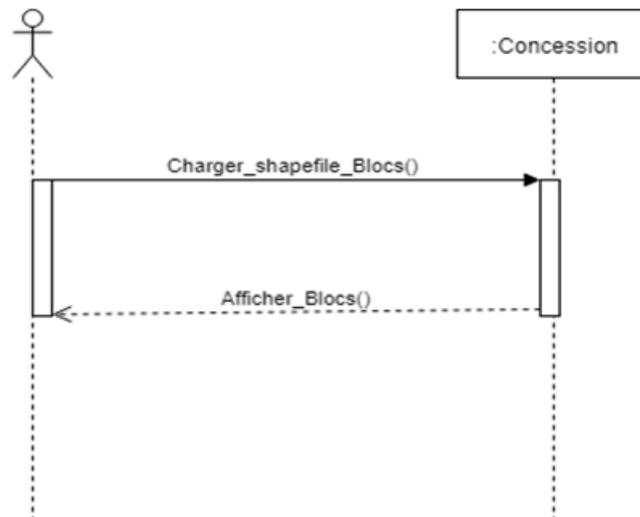


FIGURE 2.13 – Diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Blocs

TABLE 2.7 – Détails sur le diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Blocs

Fonctions et signaux du diagramme	Interprétations
Charger_shapefile_Blocs	Méthode de la classe « Concession », qui permet de charger la concession subdivisée en blocs par l'utilisateur.
Afficher_Blocs()	Fonction propre au langage, permettant de lire des fichiers cartographiques.

• **Modifier une subdivision en Blocs**

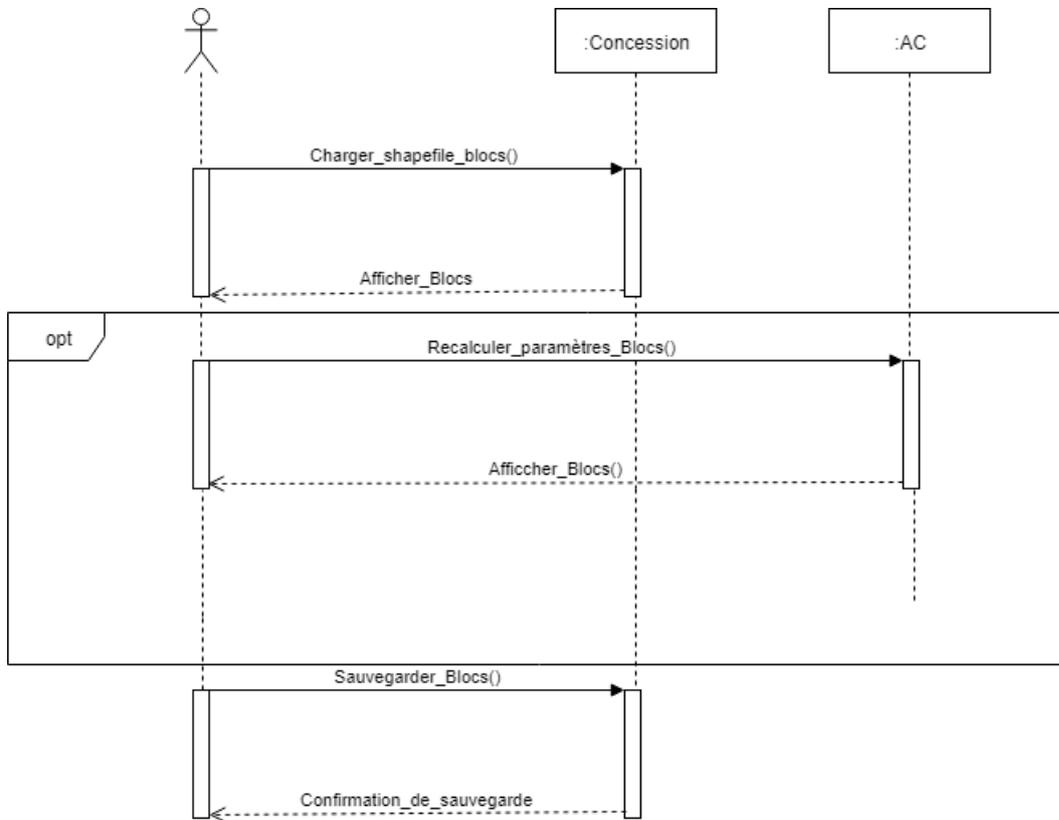


FIGURE 2.14 – Diagramme de séquences : Modifier une subdivision en Blocs

TABLE 2.8 – Détails sur le diagramme de séquences : Modifier une subdivision en Blocs

---

<b>Détails sur les fonctions et signaux du diagramme</b>	
Charger_shapefile_Blocs()	Méthode de la classe « Concession », qui permet de charger la concession subdivisée en blocs par l'utilisateur.
Afficher_Blocs()	Fonction propre au langage, permettant de lire des fichiers cartographiques.
Recalculer_paramètres_blocs()	Méthode de la classe « Bloc » qui permet à l'utilisateur de modifier manuellement le contenu d'un bloc et de recalculer ses paramètres.
Afficher_blocs()	Signal caractérisé par l'affichage de la carte subdivisée à l'écran
Sauvegarder_blocs()	Méthode de la classe « Concession » qui stocke dans un fichier l'état actuel d'une subdivision en blocs.
Confirmation de sauvegarde	Message de confirmation de l'effectuation de la sauvegarde.

---

• **Créer une subdivision en Assiettes de coupe**

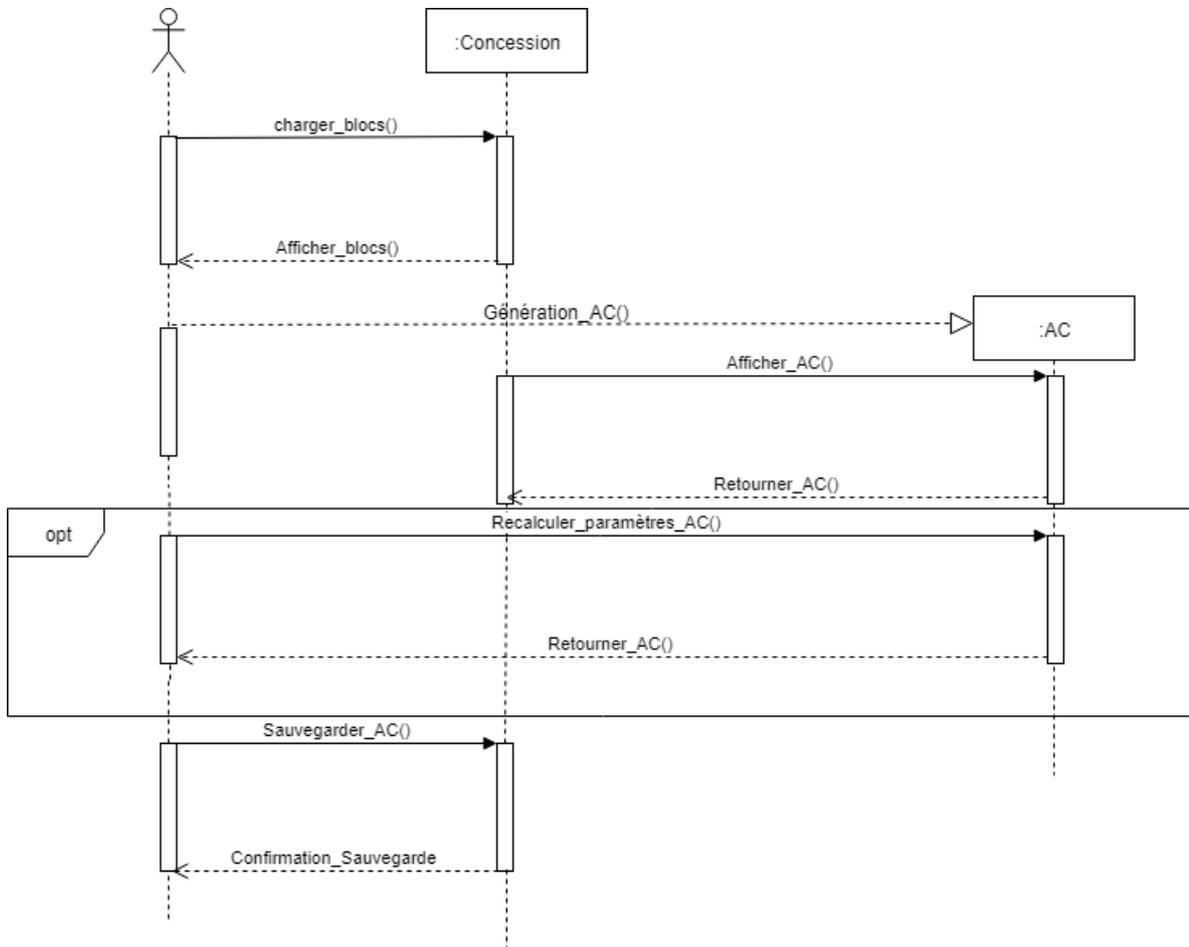


FIGURE 2.15 – Diagramme de séquences : Créer une subdivision en Assiettes de coupes

TABLE 2.9 – Détails sur le diagramme de séquences : Créer une subdivision en Assiettes de coupe

<b>Détails sur les fonctions et signaux du diagramme</b>	
Charger_Blocs()	Méthode de la classe « Concession », qui permet de charger la concession subdivisée en blocs par l'utilisateur.
Afficher_Blocs()	Fonction propre au langage, permettant de lire des fichiers cartographiques.
Recalculer_paramètres_AC()	Méthode de la classe « AC » qui permet à l'utilisateur de modifier manuellement le contenu d'une assiette de coupe et de recalculer ses paramètres.
Afficher_AC()	Signal caractérisé par l'affichage de la carte subdivisée à l'écran
Sauvegarder_AC()	Méthode de la classe « Concession » qui stocke dans un fichier l'état actuel d'une subdivision en assiettes de coupe.
Confirmation de sauvegarde	Message de confirmation de l'effectuation de la sauvegarde.

- Visualiser une subdivision en assiettes de coupe

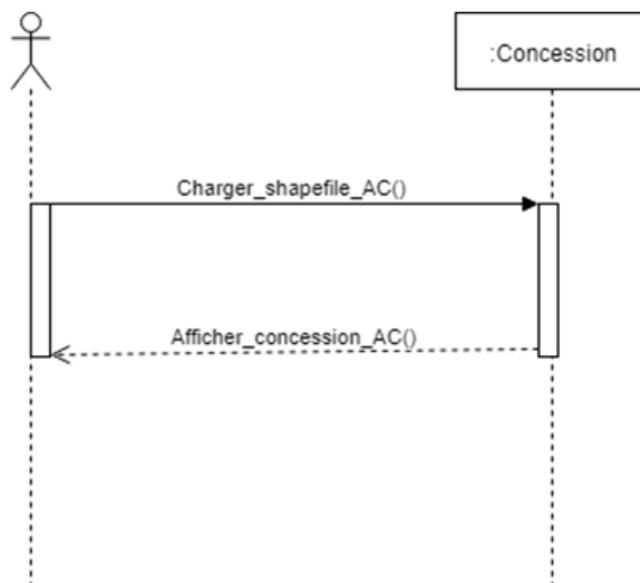


FIGURE 2.16 – Diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Assiettes de coupe

TABLE 2.10 – Détails sur le diagramme de séquences : Visualiser une subdivision en Assiettes de coupe

**Détails sur les fonctions et signaux du diagramme**

Charger_shapefile_AC()	Méthode de la classe « Concession », qui permet de charger la concession subdivisée en assiettes de coupe par l'utilisateur.
Afficher_Concession_AC()	Fonction propre au langage, permettant de lire des fichiers cartographiques.

• **Modifier une subdivision en Assiettes de coupe**

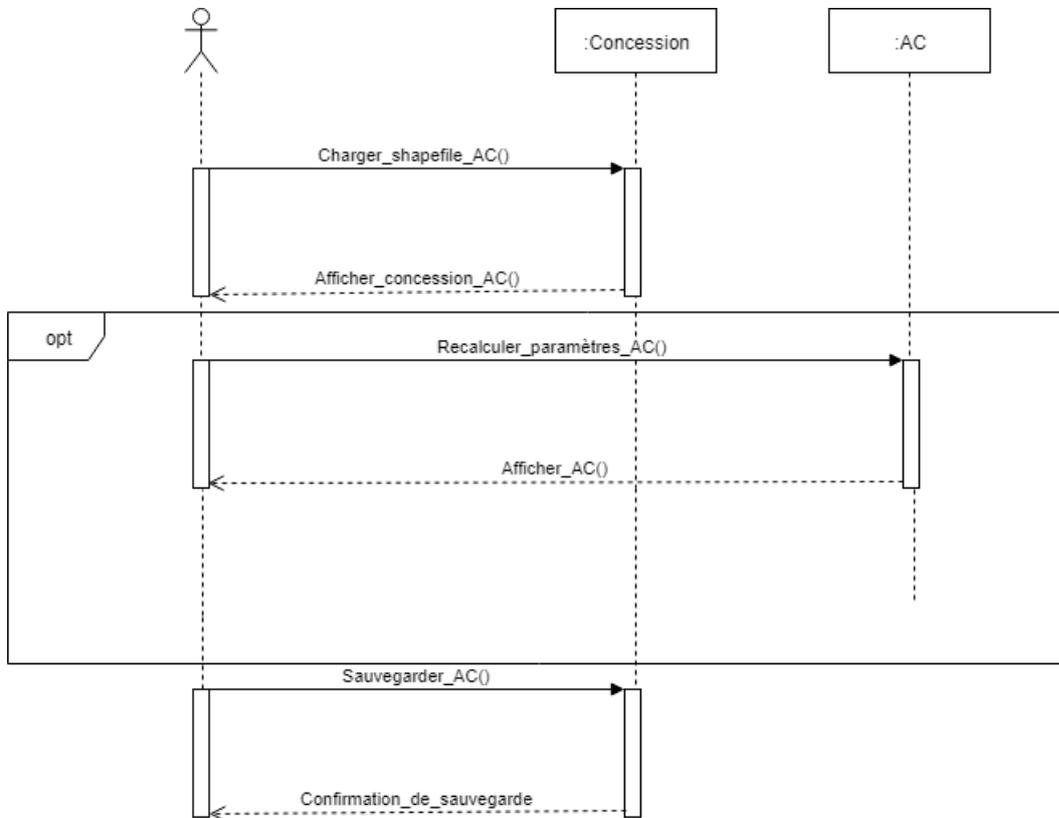


FIGURE 2.17 – Diagramme de séquences : Modifier une subdivision en Assiettes de coupe

TABLE 2.11 – Détails sur le diagramme de séquences : Créer une subdivision en Assiettes de coupe

<b>Détails sur les fonctions et signaux du diagramme</b>	
Charger_Blocs()	Méthode de la classe « Concession », qui permet de charger la concession subdivisée en blocs par l'utilisateur.
Afficher_Blocs()	Fonction propre au langage, permettant de lire des fichiers cartographiques.
Recalculer_paramètres_AC()	Méthode de la classe « AC » qui permet à l'utilisateur de modifier manuellement le contenu d'une assiette de coupe et de recalculer ses paramètres.
Afficher_AC()	Signal caractérisé par l'affichage de la carte subdivisée à l'écran
Sauvegarder_AC	Méthode de la classe « Concession » qui stocke dans un fichier l'état actuel d'une subdivision en assiettes de coupe.
Confirmation de sauvegarde	Message de confirmation de l'effectuation de la sauvegarde.

## 2.3 Conception de la couche présentation

La couche présentation est la première partie de notre logiciel. Elle est en contact direct avec l'utilisateur. Il est donc impératif de la concevoir à travers un prototypage bien mesuré dans le choix des couleurs. Nous avons adopté une structure simple en matière de graphisme en vue de permettre à l'utilisateur de retrouver et d'accéder facilement aux informations. L'interface comporte trois parties principales à savoir :

- **L'entête** : la bande verte au-dessus comportant simplement le nom que nous avons donné à l'application à savoir : « Daffsecc ». C'est un bloc statique, il reste fixe durant toute la navigation de l'utilisateur.
- **Le bloc latéral** : la bande verticale noire comportant les différentes fonctionnalités de nos modules et les différentes rubriques de notre application. Nous les avons présentés ici sous forme de menu : « Accueil », « Classification » (le module de classification), « Subdivision » (le module de subdivision en blocs et en assiettes de coupe) et « Aide » (la rubrique réservée au manuel d'utilisation). Il est également statique.
- **Le bloc central** : à l'intérieur duquel nous affichons les informations liées à chaque rubrique. C'est le seul bloc dynamique de l'application. Nous l'utiliserons le plus souvent pour interagir avec l'application. Le prototypage dans le cadre de la conception des interfaces s'est réalisé avec le logiciel « Pencil ». Le prototype général est présenté sur la figure suivante :

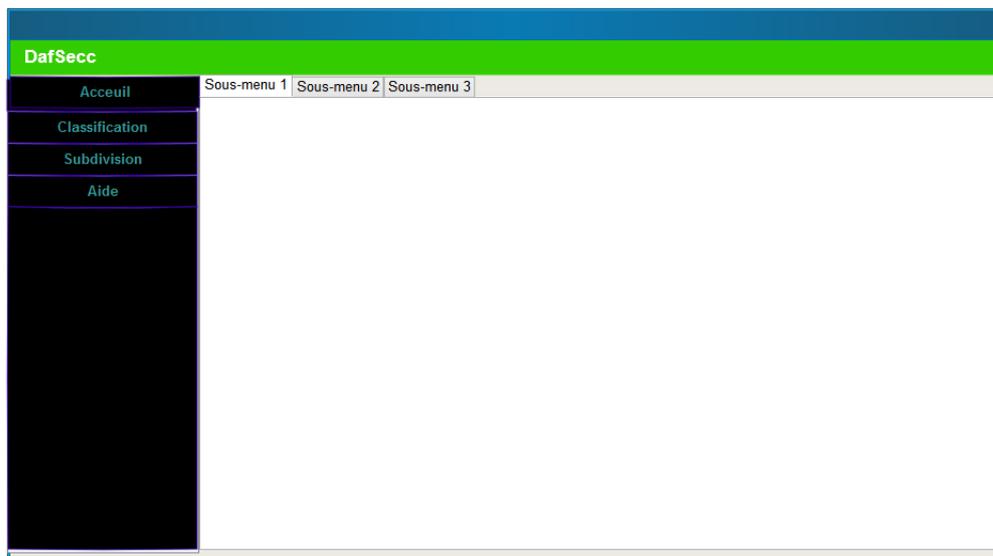


FIGURE 2.18 – Prototype de l'IHM de DafSecc

## 2.4 BILAN DU CHAPITRE

Rendus au terme de ce chapitre, nous avons défini clairement les étapes suivies pour la mise en place de cette solution après l'analyse des insuffisances du logiciel TIAMA présenté dans le chapitre 1.

L'analyse des besoins du système nous a amené à suivre rigoureusement les étapes suivantes :

- L'identification des paramètres forestiers nécessaires à l'élaboration des plans d'aménagement.
- La présentation des algorithmes et principes utilisés utilisés par notre logiciel pour estimer les effectifs dans les blocs et les assiettes de coupes.
- L'établissement des formats d'utilisation et de restitution des données (svg, png, pdf csv...).
- La conception des architectures applicatives, logicielle et physique de notre solution.

D'une manière générale, cette partie nous a permis d'avoir une vision détaillée des étapes à suivre lors de l'implémentation de notre solution.

CHAPITRE



## IMPLÉMENTATION ET RÉSULTATS

## 3.1 Choix des outils

Sont exposés dans cette section les différents outils utilisés pour mettre en place solution (langages de programmation, outils...)

### 3.1.1 Choix des outils de manipulation des données

La sélection des outils de stockage et de manipulation des données n'a pas été une tâche simple, compte tenu des contraintes liées au déploiement présentées plus haut. Nous nous sommes de ce fait penchés sur des outils ne nécessitant aucune configuration préalable. Le logiciel R, adopté pour l'implémentation de notre solution met déjà à notre disposition des outils de stockage des données sous le format \*.RData, ainsi que de nombreux packages puissants de traitement de données :

- **Les fichiers binaires RData**

Ces fichiers, portant l'extension .RData ou .rda, sont très utiles dans le développement R. Ils nous permettent de sauvegarder des données dans des fichiers compressés. Ils sont également très facilement utilisables par l'environnement R. L'appel des méthodes load() et save() permettent respectivement de charger et de les stocker des variables dans ces types de fichiers.

- **Le package « data.table »**

Le package data.table est un package développé par Matthew Dowle, un ancien de Lheman Brothers. C'est un package qui nous a permis de lire et de manipuler les données. Il permet d'importer des données assez volumineuses avec la fonction fread() et d'effectuer des traitements plus rapides que des « data.frame » pour les fichiers volumineux. Son utilisation s'est avérée très pertinente dans le traitement des données d'inventaire, et permet au logiciel de gagner un temps de calcul considérable.

- **Le package « xlsx »**

Le package xlsx est l'un des plus performants packages R pour lire, écrire et formater des fichiers Excel. C'est une solution Java-dépendante qui est compatible Windows, Mac et Linux. Il fonctionne à la fois pour les formats de fichiers de types Excel 2007 et Excel 97/2000/XP/2003 (c'est à dire les formats xls et xlsx). Ce package nous a permis d'interpréter les données d'inventaire qui sont fournis sous forme de fichiers csv, ainsi que de stocker les classifications effectuées.

**Le package « shiny »** L'interface de R est assez basique. On retrouve juste un menu, quelques boutons d'action simples et une console pour la saisie des commandes à exécuter.

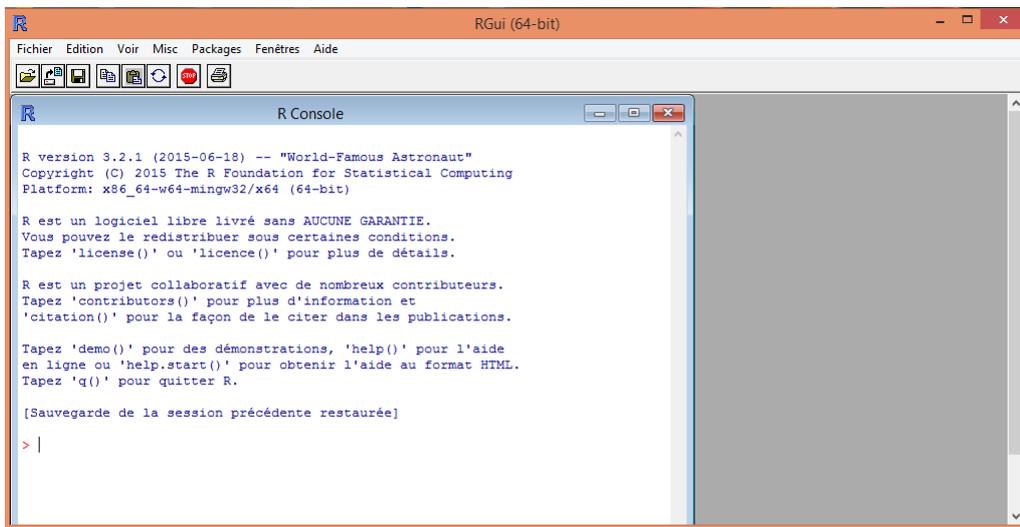


FIGURE 3.1 – Interface de R sous Windows

RStudio (Figure 3.2) est un environnement intégré libre, gratuit et qui fonctionne sous Windows, Mac Os et Linux. Il complète R et fournit un éditeur de script avec coloration syntaxique, des fonctionnalités pratiques d'édition et d'exécution du code (comme l'auto-complétion), un affichage simultané du code, de la console R, des fichiers, des graphiques et pages d'aide, une gestion des extensions, une intégration avec des systèmes de contrôle de version comme git, etc. Il intègre de base, divers outils comme par exemple la production de rapports au format Rmarkdown. Il est en développement actif et de nouvelles fonctionnalités sont ajoutées régulièrement.

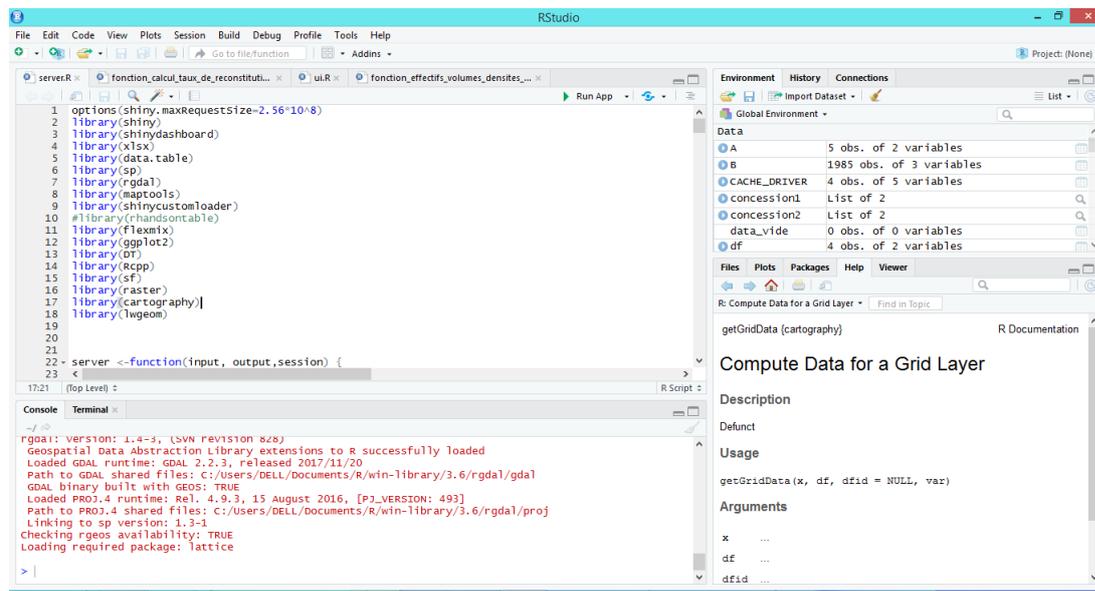


FIGURE 3.2 – Interface de R studio sous Windows

Pour une présentation plus générale de RStudio on pourra se référer au site du projet : <http://www.rstudio.com/>. La documentation de RStudio (en anglais) est disponible en ligne à l'adresse : <https://support.rstudio.com>. Pour être tenu informé des dernières évolutions de RStudio. Cependant, à part les éléments portant sur l'interface de RStudio, mais également de plusieurs extensions développées dans le cadre de ce projet, vous pouvez suivre le blog dédié : <http://blog.rstudio.org/>.

## 3.2 DEPLOIEMENT

Notre solution a été développée avec le logiciel RStudio, et par conséquent avec le langage R. Nous lui avons associée une interface web conviviale développée grâce aux package « Shiny ». L'architecture physique de notre solution prévoit un serveur web pour héberger les pages de notre solution. Dans notre cas, il s'agit de « Shiny Server », qui est une combinaison entre R et Shiny. Notre diagramme de déploiement a été réalisé en prévoyant un serveur contenant « Shiny Server », un serveur de fichiers pour stocker les fichiers de l'application et les fichiers binaires constituant notre base de données et la machine du client contenant un navigateur web.

### 3.3 PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS

#### Présentation du logiciel DafSecc

Il vous a été présenté dans la section précédente la structure adoptée pour la construction de nos interfaces. Nous avons également présenté ses multiples parties ainsi que les rôles de chacune d'elles. Celles-ci apparaîtront dans nos différents modules.

- **Page d'accueil**

C'est la première page de l'application, celle qui s'affiche lorsque l'on démarre le logiciel. Elle est structurée conformément aux trois blocs définis précédemment. Une barre horizontale verte en haut de page contenant le nom du logiciel écrit en blanc, un menu de navigation sur la gauche contenant les différentes options de navigation et un bloc principal contenant le logo du projet DYNAFAC.

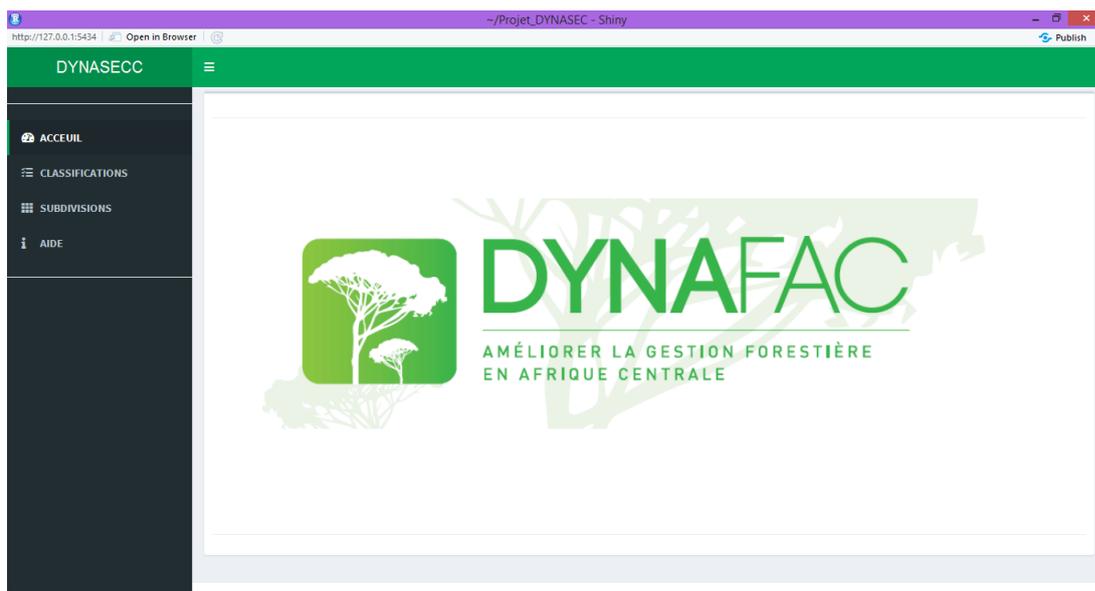


FIGURE 3.3 – Page d'accueil de la solution

#### • Module de traitement des données d'inventaire et de classification des espèces

Les activités relatives à ces deux opérations intimement liées sont regroupées dans le menu « Classification ». L'interface ci-dessous est le premier sous menu de l'onglet classification. C'est à partir de cette interface que l'utilisateur rentre le fichier d'inventaire sous forme de fichier «.csv», ainsi que le fichier cible qui fera office de récapitulatif des données d'inventaire à l'échelle de la concession. Puis il valide les entrées en cliquant sur le bouton valider.

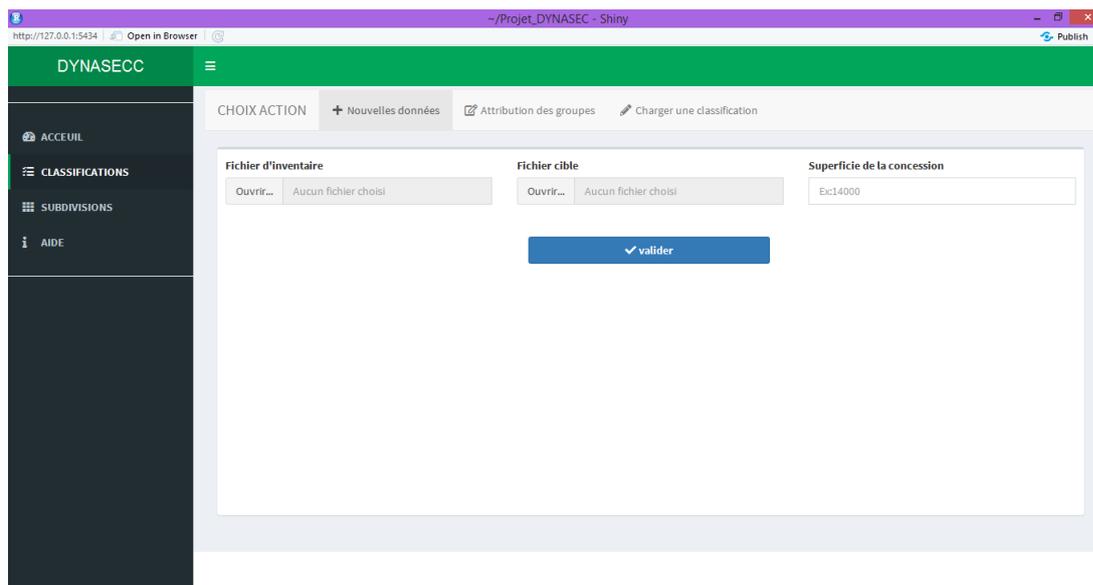


FIGURE 3.4 – Interface de sélection des fichiers d'inventaire

Une fois les fichiers chargés et cette étape traversée, les espèces admissibles pour les deux premiers groupes et recensées par le fichier d'inventaire sont désormais disponibles. L'aménagiste est donc redirigé vers la page d'attribution des groupes. Sur cette interface, le logiciel lui présente sur la partie gauche du bloc principal la liste totale des espèces des groupes 1 et 2. Au centre de ce bloc, figurent les espèces attribuées au groupe 1, et quant aux espèces classifiées dans le groupe 2, elles sont présentées dans la partie gauche du bloc principal. Au dessus de ces listes, on retrouve des menus déroulants et un champ de texte. Le premier menu déroulant est celui de la sélection d'une espèce, le second celui du choix d'un groupe d'exploitation pour l'espèce considérée. Le champ de texte quant à lui, sert à la saisie du DMA d'exploitation. L'interface de classification est représentée sur la figure ci-dessous :

### Chapitre 3 - Implémentation et résultats 3 - PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS

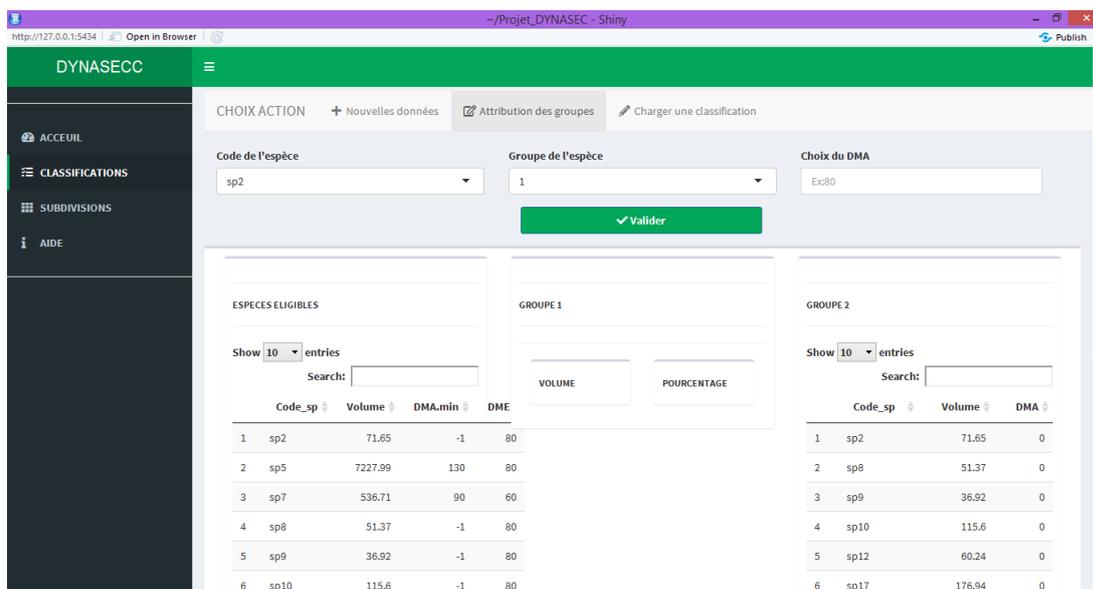


FIGURE 3.5 – Interface de répartition des espèces

Une fois l’opération d’attribution des groupes terminée, il ne reste à l’utilisateur qu’à sauvegarder la classification effectuée. Pour cela, il clique sur le bouton « Sauvegarder » présent dur l’interface de classification. Puis, sur la boîte de dialogue qui s’ouvre, il saisit le nom de sauvegarde du fichier « csv ». L’interface de sauvegarde du fichier est illustrée par l’image ci-après :

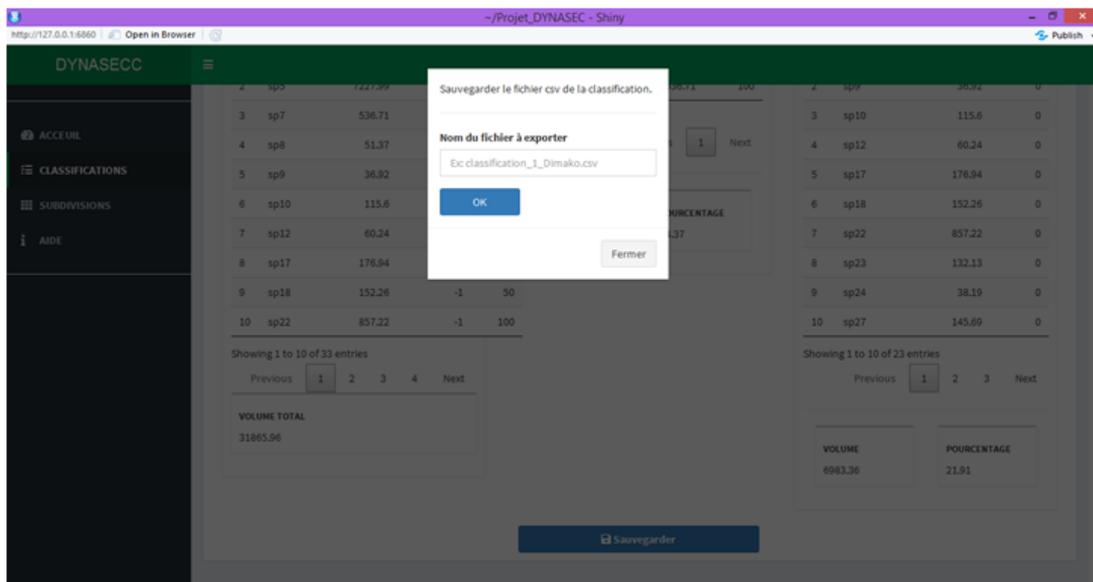


FIGURE 3.6 – Interface de sauvegarde d’une classification

### Modification d'une classification

La modification d'une classification se fait à partir du sous-menu « Modifier une classification ». A partir de cette interface, il sélectionne les fichiers « csv » sauvegardé lors de la création de ladite classification, puis le valide. Il est redirigé vers l'interface de modification et peut alors débiter les opérations voulues. L'Interface Homme Machine (IHM) de chargement d'une classification est la suivante :

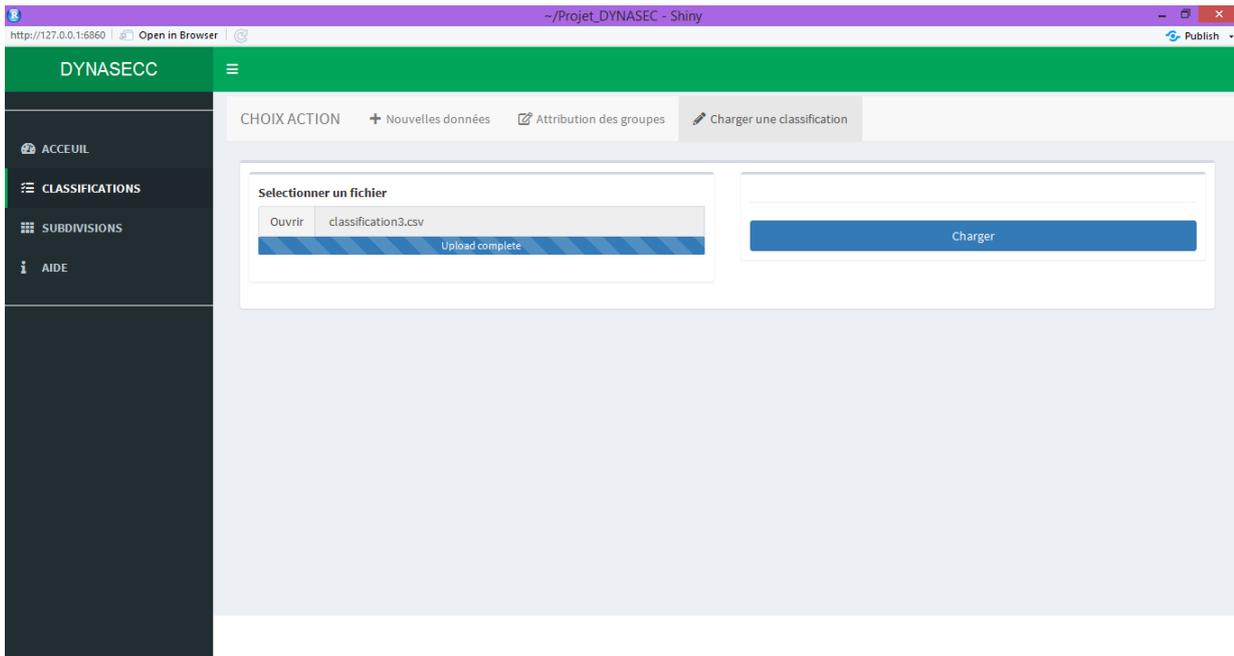


FIGURE 3.7 – Interface de sélection d'une classification pour modification

## CONCLUSION

### Rappel du problème

L'aménagement des concessions forestières des pays du bassin du Congo est une activité qui, à ce jour, rencontre de nombreuses difficultés dans sa régulation. En effet, les acteurs privés en charge de l'exploitation ou les gouvernements des Etats concernés, aucune partie prenante n'est en mesure de donner une estimation des volumes de bois réellement exportés, et de la répartition des ressources au sein des concessions. Une première solution à ce problème a été proposée, mais reste très insatisfaisante puisqu'il ne permet la réalisation d'aucune des opérations suscitées. Ainsi, il a été question de concevoir une solution qui servirait à la fois à l'établissement des plans d'aménagement par les concessionnaires, mais aussi de d'outil de vérification par les autorités gouvernementales.

### Solution proposée

La solution proposée, s'inscrivant dans l'optique de remplacement d'un logiciel en cours d'utilisation, facilitera considérablement la tâche des utilisateurs. Ceci en réduisant considérablement les nombre d'interactions grâce à l'importation de fichiers, mais également en offrant un contrôle quasi total à ce dernier, notamment durant l'opération de classification opérationnelle, et celle de subdivision à venir. De plus, la solution, développée avec le langage R, offre un gain en temps et en efficacité considérable pour ses utilisateurs, en comparaison de son prédécesseur.

### Limites et perspectives

L'estimation des ressources disponibles à l'intérieur de la concession à partir des données réalisées au sein des parcelles reste principal point d'amélioration. En effet, la connaissance des UFA(Unités Forestières d'Aménagement) et de leur répartition géographique à l'intérieur des concessions nous permettrait d'améliorer considérablement la précision de notre système.

Comme perspectives, on peut considérer **l'implémentation du module de subdivision** conçu. Il aura pour objectif de permettre aux aménagistes de déterminer de façon sémi-

---

automatique, les frontières des blocs d'exploitation et des assiettes de coupe au sein de chaque concession.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. Eba'a Atyi. *PRINCIPES ET CONCEPTS ESSENTIELS EN AMENAGEMENT FORESTIER*. 2016.
- [2] Stéphanie Bessie. Algorithmique, géométrie :algorithmes de cours.
- [3] Assemblée Nationale de la République du Cameroun. *LOI N°94/01 du 20 janvier 1994 portant régime des forêts, de la faune et de la pêche*. 1994.
- [4] Ecole Nationale des Eaux et des Forêts du Cap Esterias au Gabon. *Formation aménagistes et gestionnaires forestiers*. 2006.
- [5] Ministère des Forêts du Cameroun. *Guide d'élaboration des plans d'aménagement des concessions forestières du Cameroun*. 1994.
- [6] Bureau en Chef de la Plannification forestière du Quebec. Manuel de détermination des possibilités forestières. <https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2013/01/01116MDPFplannification.pdf>.
- [7] H. Forster. *Méthodologie et Instruction d'Inventaire Forestier Général du Bassin de N'Djamena*. 2001.
- [8] Alain Franc. *Introduction à la modélisation des forêts hétérogènes*. Dunod, 2010.
- [9] Pierre Eric TONYE LISSOUCK. *Mise en place d'un outil d'aide à la gestion des exploitations forestières couplé à un simulateur de la dynamique forestière : Cas du bassin du Congo*. 2016.

