



CONCEPT NOTE

Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Février 2022



R&SD
TECHNOLOGY



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débarquement)

BFConsult SRL

Place des Nations Unies, 12
4020 Liège
Belgique
+32/4.227.27.18

administratif-financier@bfconsult.be

R&SD TECHNOLOGY

6, rue d'Arlon
L-8399 Windhof
Grand-Duché de Luxembourg
+352 27 99 59 46

contact@resynde-tech.com



BFConsult
Expertises et gestion



R&SD
TECHNOLOGY



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

CONTENU

1	INTRODUCTION	6
1.1	CONTEXTE ET ENJEUX	6
1.1.1	LA CERTIFICATION ET LE CARBONE FORESTIER.....	6
1.1.2	L'IMPACT DE L'EXPLOITATION FORESTIERE.....	6
1.1.3	LE PARTAGE DE PRODUCTION	7
1.1.4	LES DIFFICULTES ACTUELLES	8
1.2	EXPRESSION DES BESOINS.....	8
1.3	ETAT DE L'ART.....	11
1.3.1	OUTILS DE PLANIFICATION DU RESEAU DE PISTES FORESTIERES	11
1.3.2	ESTIMATION DES COUTS DE CONSTRUCTION DE ROUTE	12
1.3.3	BILAN DE L'ETAT DE L'ART	15
2	SOLUTION PROPOSEE	16
2.1	VOLET 1 : PLANIFICATION DES PISTES FORESTIERES :	16
2.2	VOLET 2 : CONSTRUCTION DE PISTES FORESTIERES :	16
3	APPLICATION DE PLANIFICATION DES PISTES FORESTIERES	18
3.1	OBJECTIFS DE L'APPLICATION.....	18
3.2	CIBLES.....	19
3.3	PREREQUIS	19
3.4	FONCTIONNEMENT DE L'APPLICATION	20
3.4.1	MODULE 1 : DECOUPAGE EN POUCHES D'EXPLOITATION.....	22
3.4.2	MODULE 2 : CONCEPTION DU RESEAU DE PISTES FORESTIERES.....	23
3.4.3	MODULE 3 : ANALYSE DU RESEAU DE PISTES FORESTIERES	25
3.5	INDEPENDANCE DES MODULES	26
3.6	RESULTATS ATTENDUS DE L'APPLICATION.....	27
3.7	UTILISATIONS POSSIBLE DE L'APPLICATION.....	30
3.8	ARCHITECTURE DE L'APPLICATION	31



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.8.1	PLATEFORME WEBGIS.....	31
3.8.2	MODULE QGIS	33
3.9	RECHERCHE OPERATIONNELLE ET PROGRAMMATION LINEAIRE	34
3.10	DETAILS DE DEVELOPPEMENT	36
3.11	CHOIX DE L'ARCHITECTURE.....	38
3.12	DEPLOIEMENT DE L'APPLICATION	41
4	PROGRAMME D'INTERVENTION	42
4.1	PHASE 1 : STRUCTURE TECHNIQUE DE L'APPLICATION.....	42
4.1.1	ACTIVITES DE LA PHASE 1	42
4.1.2	LIVRABLES DE LA PHASE 1	42
4.2	PHASE 2 : TRADUCTION DE LA COMPETENCE METIER ET DES BESOINS EN LANGAGE INFORMATIQUE.....	43
4.2.1	ACTIVITES DE LA PHASE 2.....	43
4.2.2	LIVRABLES DE LA PHASE 2	43
4.3	PHASE 3 : DEVELOPPEMENT INFORMATIQUE DE L'APPLICATION	44
4.3.1	ACTIVITES DE LA PHASE 3.....	44
4.3.2	LIVRABLES DE LA PHASE 3	44
4.4	PHASE 4 : DEPLOIEMENT ET PROMOTION DE L'APPLICATION.....	45
4.4.1	ACTIVITES DE LA PHASE 4.....	45
4.4.2	LIVRABLES DE LA PHASE 4	45
4.5	PHASE 5 : FORMATION A LA PLANIFICATION ET LA CONSTRUCTION DE PISTES FORESTIERES	46
4.5.1	LIVRABLES DE LA PHASE 5	46
4.6	PHASE 6 : ASSISTANCE POST-DEVELOPPEMENT (HORS-BUDGET)	46
5	CALENDRIER DE MISE EN OEUVRE	46
6	ESTIMATION DES BESOINS.....	51
6.1	EXPERTISE	51
6.2	FINANCE.....	51
6.2.1	BUDGET TOTAL	51



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

6.2.2	COFINANCEMENT PROPOSE PAR BFCONSULT ET R&SD TECHNOLOGY.....	54
6.2.3	AUTRES COFINANCEMENTS ENVISAGEABLES	54
6.2.4	FRAIS DE MAINTENANCE ET D'HEBERGEMENT (HORS BUDGET DE L'INTERVENTION)	54



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE ET ENJEUX

1.1.1 LA CERTIFICATION ET LE CARBONE FORESTIER

Ces dernières années, la progression des concepts liés à l'aménagement et à la gestion durable des forêts d'Afrique centrale a inscrit l'ensemble du secteur forestier du Bassin du Congo dans une dynamique globale de promotion de la certification forestière. C'est dans cette dynamique que le Programme de Promotion de l'Exploitation Certifiée des Forêts (PPECF) a développé un programme de soutien aux entreprises forestières non-certifiées et certifiées.

Depuis les années 2000, se développent et se consolident des concepts liés au développement durable. Cette prise de conscience environnementale, internationale, et le besoin aujourd'hui évident d'agir face au changement climatique¹ conduisent les acteurs de la gestion forestière (entreprises forestières, les organismes de contrôle, organismes de certification) à intégrer ces enjeux dans leurs outils de suivi et d'évaluation. Ceci implique entre autres : la réalisation de bilans carbone, le suivi des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES), le suivi et maintien des services écosystémiques, etc.

A ce titre, le référentiel PAFC Bassin du Congo² a récemment intégré ces préoccupations, au travers des indicateurs suivants :

- Indicateur 7.3.1 : L'organisation doit réaliser un bilan des émissions des GES sur l'ensemble de ses activités incluses dans le domaine d'application du système de gestion forestière durable (SGFD), identifier et mettre en œuvre des mesures d'atténuation appropriées de ses émissions de GES ;
- Indicateur 7.3.2 : L'organisation doit produire une cartographie des stocks de carbone estimés de l'UGF, qui inclut a minima les stocks de carbone aériens et identifie les stocks de carbone particulièrement importants.

1.1.2 L'IMPACT DE L'EXPLOITATION FORESTIERE

Par ailleurs, les techniques mises en œuvre lors des opérations forestières occupent souvent une place importante dans l'appréciation globale d'une certification. Elles font également partie des critères évalués par la méthodologie Reduced-Impact Logging for Climate (RIL-C), développée par The Nature Conservancy pour Verified Carbon Standard (VSC) en 2016³. Parmi ces opérations, l'ouverture des routes, parcs et pistes de débardage comptent en effet pour une majeure partie de l'impact du processus d'exploitation sur le couvert forestier et son stock de carbone.

¹ GIEC, 2021, 6ème rapport d'évaluation sur le changement climatique. OMS, UNEP

² PAFC-BC- NORM-001-2019-1

³ VSC Methodology VM0035 - Methodology for Improved Forest Management through Reduced Impact Logging



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

De même, le Standard Régional FSC pour le Bassin du Congo⁴ intègre également la notion de planification, en vue de la réduction des émissions :

- Indicateur 5.3.7 : « Des cartes à grande échelle doivent être élaborées avant toute exploitation et pour toutes les Assiettes Annuelles de Coupe (AAC), identifiant les limites de ces dernières, les zones protégées, les routes d'extraction et les parcs à bois de chaque AAC, ainsi que les sites de stockage pour les clients et les déchets de production. »

Ainsi, la planification des différents réseaux de pistes forestières (routes et pistes de débardage), sous forme de cartes détaillées, est une opération incontournable à la mise en exploitation d'une zone de coupe.

L'approbation des Plans Annuels d'Opération (PAO) par les administrations forestières est d'ailleurs souvent conditionnée par une bonne planification routière : optimisant à la fois la quantité et la qualité du bois extrait, vis-à-vis de la distance totale de routes et pistes ouvertes.

1.1.3 LE PARTAGE DE PRODUCTION

Comme présenté dans le Résumé de l'étude et des résultats sur le « Partage de Production » au Congo, préparé par FRMi (cf. Appendice 1), la République du Congo et la République du Gabon sont actuellement en discussion pour mettre en place un nouveau mécanisme d'exploitation forestière qualifié de **Partage de production** (ou PdP).

La mise en application des mécanismes du Partage de production permettrait de réviser complètement la fiscalité forestière, et d'augmenter la part de volume disponible pour les transformateurs industriels, notamment ceux qui ne sont pas concessionnaires forestiers.

Ce nouveau régime d'exploitation a donc pour but d'améliorer la valorisation de volumes et essences actuellement non exploités (toujours dans un cadre d'une gestion durable, conforme aux plans d'aménagement des concessionnaires) et le développement des industries de transformation en vue d'un arrêt complet de l'export de grumes par les pays producteurs.

A travers ce mécanisme, les concessionnaires seront d'une certaine manière, obligés d'exploiter d'autres essences avec des volumes souhaités déterminés préalablement à l'exploitation et de les mettre à disposition sur des Parc à Bois [PàB] pour des non-concessionnaires.

Le partage de production va forcément rendre plus difficile la planification des réseaux de pistes forestières (pistes de débardage, Parc à Bois, Routes Principales et Secondaires). En effet, le travail de planification devra alors tenir compte de volumes et d'une diversité d'essences exploitées bien plus important que dans l'ancien régime d'exploitation, ce qui risque d'augmenter le nombre de pistes et de parcs à bois à mettre à dispositions des opérateurs non concessionnaires, pouvant conduire à de lourds

⁴ FSC-STD-CB-01-2012



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

impacts environnementaux et financiers si la planification du réseau de pistes et des parcs à bois n'est pas optimisée. L'intérêt d'un logiciel de planification routière s'en trouve d'autant renforcé.

1.1.4 LES DIFFICULTES ACTUELLES

Les opérations de planification des différents réseaux de pistes forestières sont souvent mal réalisées, parfois même omises, par les gestionnaires forestiers. Il est en effet très rare, vu le temps que cela nécessite, qu'une entreprise forestière de taille moyenne ait à disposition, chaque année, plusieurs projets de réseau de pistes forestières entre lesquels choisir.

Cette situation s'explique en partie par la complexité de l'opération, qui nécessite à la fois des compétences cartographiques, des connaissances en exploitation forestière et une grande maîtrise de techniques d'Exploitation Forestière à Impact Réduit (EFIR).

Bien que l'impact des opérations d'exploitation sur l'écosystème forestier soit inévitable, les conséquences d'une mauvaise planification des différents réseaux de pistes forestières sont nombreuses: elles entraînent des surcoûts financiers et environnementaux importants, une augmentation des émissions de GES et une dégradation des services écosystémiques.

Suite à l'étape de planification de pistes forestières viennent les opérations de construction du réseau routier. La construction du réseau de pistes forestière et l'organisation de ce type de chantier est également une opération complexe. La technique en elle-même doit être bien maîtrisée afin de garantir une bonne performance de l'opération, des impacts limités au maximum, ainsi qu'une bonne durabilité et un besoin en entretien réduit. Par ailleurs, pour répondre aux mêmes objectifs cités précédemment le chantier routier se doit toujours d'être en avance sur l'avancement du chantier d'exploitation (minimum 6 mois).

Le chantier routier est organisé en brigade, comprenant plusieurs engins intervenants ensemble (appelé aussi échelon). L'importance et la complexité de l'opération demande à ce que les opérations de construction de route et d'ouvrage d'art soient également planifiées.

Malheureusement, force est de constater que malgré les nombreux supports déjà produits et diffusé sur le sujet, la construction des routes en milieu forestier reste une étape encore mal maîtrisée par de nombreux opérateurs conduisant à des impacts environnementaux et des surcoûts importants, dans un contexte inflationniste probablement long, en raison du renchérissement des coûts logistiques de transports.

1.2 EXPRESSION DES BESOINS

La profession forestière a donc un besoin crucial de maîtriser les opérations de planification et de construction de pistes forestières pour en diminuer les coûts. Ces opérations sont, en outre, le socle de toute la phase d'exploitation qui suit et la différence entre une bonne ou une mauvaise maîtrise de ces dernières est extrême, autant en termes d'impacts écologique qu'en terme de rentabilité économique.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

De plus, la planification des pistes forestières et leur construction sont intimement liées avec les principes de l'aménagement forestier durable. En effet, l'aménagement d'un massif forestier définit une rotation composée de zones de coupes annuelles, il est donc attendu des gestionnaires forestiers, qu'ils respectent cet aménagement et qu'ils ne prennent pas ou peu de retard sur la rotation. Afin de répondre à cet objectif, il est essentiel de disposer d'outils permettant de chercher la planification routière la plus optimale ainsi que de disposer d'une brigade de construction routière formée et pleinement efficace.

Afin d'améliorer le fonctionnement et réduire les impacts des chantiers forestiers en Afrique centrale, il est essentiel et urgent de doter les entreprises forestières d'outils d'aide à la décision et de gestion des contraintes, et de supports d'apprentissage adaptés afin de maîtriser totalement les opérations de planification et de construction des réseaux de pistes forestières

Dans le détail, les besoins des entreprises forestières sont les suivants :

En matière de planification des pistes forestières, il est nécessaire de disposer de personnel formé, compétent et capable de :

- Comprendre les enjeux de la planification des pistes forestières ;
- Savoir préparer des jeux de données cartographiques de bonne qualité ;
- Maîtriser les méthodes de conception d'un réseau de pistes forestières ;
- Savoir analyser les performances attendues d'une planification de pistes forestières ;
- Evaluer les contraintes et adapter les choix en fonction de ces dernières ;
- Savoir évaluer la bonne mise en œuvre d'une planification de pistes forestières.

En matière de construction de pistes forestières, il est nécessaire de disposer de personnel formé, compétent et capable de :

- Comprendre les enjeux de la planification des pistes forestières et les enjeux de construction d'un réseau de pistes forestières de bonne qualité ;
- Maîtriser des typologies de pistes forestières adaptées aux besoins de l'entreprise et garantissant un moindre impact sur l'environnement ;
- Comprendre le fonctionnement d'un chantier routier dans son ensemble (fonctionnement en brigade-échelon) ;
- Maîtriser les méthodes de construction et d'entretien de pistes forestières à impact réduit ;
- Assurer une utilisation efficace des engins lourds de manière à réduire les coûts financiers et environnementaux ;
- Savoir évaluer la bonne conduite des opérations de construction de pistes forestières.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

De façon générale, pour le gestionnaire forestier :

- Maitriser les méthodes employées au sein de son entreprise ;
- Maitriser les impacts environnementaux et économiques de ces méthodes sur son massif forestier ;
- Concevoir un réseau de pistes efficient et le moins émissif en carbone.

Ces besoins, tel qu'exprimés ci-dessus ne sont pas spécifiques à un type d'entreprise en particulier. Toutes sont concernées, qu'il s'agisse de nouveaux opérateurs économiques peu expérimentés, ou bien d'entreprises forestières certifiées.

En effet, la planification des pistes forestières et l'analyse des performances d'un réseau de pistes entrent pleinement dans les mécanismes d'amélioration continue des entreprises.

Il est également important de préciser que les pays du Bassin du Congo semblent s'orienter vers le « Partage de Productions ». En effet, récemment le Gabon et le Congo ont abordé un nouveau régime d'exploitation dit en PP. Dans ce régime, le concessionnaire se verrait être obligé de mettre du bois à disposition de non-concessionnaires. Il est évident que cela va bouleverser toute l'organisation du concessionnaire qui va devoir investir dans de l'équipement et du personnel supplémentaires. Des réseaux de pistes forestière devront être étendues à de nouvelles essences, de nouveaux parcs dédiés aux non-concessionnaires devront être positionnés, etc. Un besoin de planification additionnelle et de coûts analytiques des réseaux de pistes forestières pour facturer la cession de bois aux non-concessionnaires serait dès lors identifié chez les concessionnaires⁵.

Un état de l'art a été produit en partie suivante afin d'étudier les outils et méthodes actuellement disponibles aux entreprises du Bassin du Congo afin de répondre à leurs besoins.

⁵ Dans une seconde phase de développement technique et informatique, dans le cas où le Partage de Production serait validé et mis en place, le logiciel pourrait alors être upgradé pour gérer / prendre en compte les ajustements nécessaires au régime en PP.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

1.3 ETAT DE L'ART

1.3.1 OUTILS DE PLANIFICATION DU RESEAU DE PISTES FORESTIERES

L'intérêt de la profession pour un outil de planification du réseau de pistes forestières automatisé et pour des outils de calcul des coûts de construction de pistes forestières n'est pas nouveau et des travaux ont déjà été menés sur le sujet. Les sections suivantes présentent les informations collectées à travers une revue de la documentation existante⁶. Cependant, force est de constater qu'il n'existe pas d'outil d'aide à la décision et de gestion de gestion des contraintes en matière de planification et de mise en œuvre de réseau de piste.

On peut citer le Cirad, qui en 1998 publiait dans la revue FORAFRI, un article présentant des travaux de modélisation des pistes et parcs forestiers⁷. Ces travaux ont été réalisés à l'aide du logiciel IDRISI 2.0 et cherchaient à automatiser la planification du réseau routier par SIG. Ces travaux listaient déjà un certain nombre de contraintes à prendre en compte et des solutions pour les traiter. Une partie du modèle informatique est présenté et peut être intéressant à consulter dans le cadre de la mise en œuvre du projet proposé. Néanmoins, il s'agit d'une étude datant de plus de 20 ans et les outils informatiques et web ont énormément progressé. Par conséquent, il y a peu de chance que les résultats en termes de codes présentent un intérêt à être réutilisés. Une prise de contact avec le Cirad a toutefois été tentée, sans réponse à la date de la rédaction de ce document.

Un autre article, publié par l'ONF a également été consulté⁸. Cette étude, plus récente, traite du développement d'une extension QGIS nommée Automatracks et qui vise à optimiser le tracé des pistes forestières principales en Guyane française. L'étude présente des informations intéressantes dans le sens où elle présente de manière détaillée la méthodologie employée et analyse les résultats obtenus dans différents contextes topographiques. Un répertoire contenant l'extension QGIS est également disponible sur internet. Cependant cette extension se limite à la planification des pistes principales et ne permet pas le découpage en poche d'exploitation, ni de planifier les pistes secondaires, ni les parcs à bois, ni d'intégrer des informations sur les GES.

De façon plus générale, bien que ces deux études tiennent compte des coûts économiques, aucune ne tient compte de manière précise et chiffrée, des coûts environnementaux de la construction des routes, des pistes de débardage et des parcs forêt.

L'ONF a également développé en Guyane, un second outil SIG disponible sous forme de plugin QGIS et nommé « Piste Creator ». Il s'agit cette fois d'un outil semi-automatique d'aide à la décision pour la

⁶ Des prises de contact avec différents organismes cités ont été amorcées. Aucune informations additionnelles au contenu des documents consultés n'ont malheureusement pu être collectées.

⁷ FREYCON, V, YANDJI, E, 1998, Le SIG, une aide pour tracer un réseau de pistes forestières, Méthode et résultats, FORAFRI, Document 13, CIRAD.

⁸ PEILLET, S, BEDEAU, C, DESCROIX, L, 2018, Méthode d'optimisation du réseau principal de routes forestières en Guyane française : transposition de l'algorithme de Dijkstra pour la prise en compte des contraintes liées à l'implantation des routes. Office National des Forêts (ONF).



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

conception du réseau de pistes forestières. Selon le mode sélectionné, il permet à l'opérateur SIG de tracer des voies en remblai-déblai avec un profil en long à pente constante dans les zones de relief et de tracer des pistes de débardage sans terrassement et sans dévers afin d'optimiser le débusquage des bois à débarder, en optimisant le tracé des cloisonnements d'exploitation⁹.

Cet outil, plus complet que « Automatracks » reste un outil semi-automatique, qui nécessite d'être manipulé par un opérateur qualifié, prenant lui-même les décisions d'orientation des pistes. De plus, il ne tient malheureusement pas compte de l'impact de la planification sur l'environnement.

Il est également connu que la société forestière CIB-Olam au Congo a travaillé à développer un outil de planification de pistes de débardage et de l'exploitation forestière en interne. Le coût de développement de cet outil est élevé et les résultats sont difficilement accessibles. De plus, l'outil est adapté au cas spécifique du Nord Congo (notamment un terrain particulièrement plat) et par conséquent, difficilement applicable aux autres contextes forestiers présents dans le Bassin du Congo (type de reliefs, hydrographie, météo, variabilité des coûts, etc.).

Le logiciel ici proposé, est plus pragmatique car il fait de la capacité du concessionnaire (c'est à dire de sa brigade d'engins travaillant en échelons" la première contrainte qui doit être constamment vérifiée. Autrement dit, la planification et la mise en œuvre du réseau de pistes sont constamment compatibles avec les moyens du concessionnaire. Toute proposition qui ne satisfait pas à ces exigences incompressibles est donc rejetée, à moins que le concessionnaire décide de renforcer sa brigade routière par des investissements ou de la location d'engins lourds.

1.3.2 ESTIMATION DES COÛTS DE CONSTRUCTION DE ROUTE

La construction de pistes forestières représente un coût financier et environnemental non négligeable. Les coûts financiers de construction des pistes sont mentionnés dans plusieurs documents et on observe des coûts pouvant varier selon les pays et les méthodes employées par les entreprises forestières.

Le Tableau 1 donne une idée des coûts de construction de pistes forestières selon leur type.

Tableau 1 : Coûts de construction des routes forestières¹⁰

TYPE DE ROUTE	COÛT (FCFA/KM)
Route permanente et route principale	4 000 000 – 6 000 000
Route secondaire	3 200 000 – 4 000 000
Bretelle	300 000 – 700 000
Piste de débardage	20 000 – 30 000

⁹ ONF, 2018, Rapport d'activité de 2018, Direction Territoriale de la Guyane.

¹⁰ ONF International, 2017, Conduite des phases mécanisées de l'exploitation forestière, Référentiel des bonnes pratiques, PPECF.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Le coût environnemental relatif à la construction des pistes peut être parfois difficile à quantifier tant les impacts sont variés. L'impact environnemental peut en effet s'appréhender de plusieurs manières : en termes d'ouverture du couvert, de dégât au peuplement résiduel, de diminution de stock de carbone, de performances de fructification, de dérangement de la faune et de la biodiversité. Certains de ces impacts peuvent être évités ou réduits grâce à la mise en œuvre de méthodes EFIR par les entreprises forestières. En termes de quantification des émissions carbonées ou bien de réduction des émissions carbone, le projet pilote REDD+ de la Lukénie¹¹ proposait déjà en 2013, quelques équations permettant d'effectuer ces calculs de « Construction de pistes forestières », soit des calculs d'optimisation environnemental sur la longueur des pistes de débardages.

Des documents de types guides explicatifs sur la construction de pistes forestières existent. Diverses procédures ont déjà été produites en direct pour le compte d'entreprises forestières dans le cadre de contrats d'assistance technique avec des bureaux d'étude. Les bénéficiaires de ces procédures et des formations qui les accompagnent sont restreint aux seules sociétés forestières capables de s'offrir de tels services.

Par ailleurs plusieurs guides, notamment le guide sur la « Conduite des phases mécanisées de l'exploitation forestière, Référentiel des bonnes pratiques » produit par ONFI et publié par le PPECF (site web), déjà cité, ainsi qu'un autre guide produit par l'ATIBT et TERA¹².

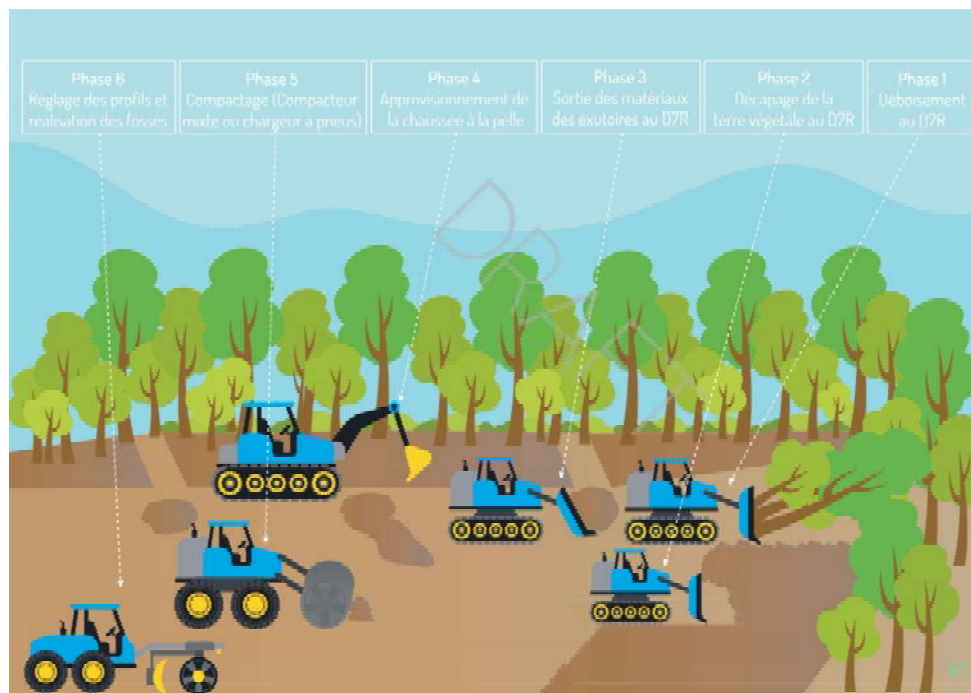


Figure 1 : Dessin issu du Référentiel des bonnes pratiques en conduite des phases mécanisées de l'exploitation forestière (ONFI, PPECF, 2017)

¹¹ HIRSH F, JOURGET J-G, FEINTRENIE L, BAYOL, N et ATYI RE. 2013. Projet pilote REDD+ de la Lukénie. Document de travail 111. Bogor, Indonésie : CIFOR

¹² DIROU, S. 2017, Les pratiques EFIR des sociétés FSC dans le Bassin du Congo, Synthèse, ATIBT, TERA.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

A titre d'exemple, dans le référentiel des bonnes pratiques produit par l'ONFI, nous pouvons notamment lire l'extrait suivant :

On appelle « échelon de terrassement » ou « échelon » l'ensemble des engins qui constituent l'équipe de terrassement au sens large, c'est-à-dire l'ensemble des engins qui participent à la réalisation d'une route. Un échelon type est constitué de 2 à 3 D7, une pelle (ou éventuellement un chargeur sur pneus), un compacteur mixte ou chargeur à pneus et une niveleuse. Un échelon travaille comme équipe coordonnée devant fonctionner comme une seule entité : il s'agit d'adapter à tout moment les tâches des engins les uns par rapports aux autres, en fonction des conditions de terrain et des impératifs climatiques. On peut ainsi schématiser la coordination des différents éléments d'un échelon de terrassement (en décrivant trois configurations de travail type : l'ouverture du chantier, l'avance du chantier et la fermeture du chantier) :

- *A l'ouverture du chantier, les trois D7 sont à l'avant, pour à la fois ouvrir la forêt et dégager les matériaux nobles pour la pelle.*
- *Lorsque le chantier avance, deux D7 sont maintenus à l'avant pour poursuivre la déforestation, tandis que le dernier est chargé de faire apparaître le matériau de remblais (action de décapage) afin que la pelle ne soit jamais contrainte à l'arrêt par manque de matériau découvert, d'ouvrir les exutoires, de réaliser les banquettes et de fermer les zones d'emprunt.*
- *En cas de fermeture rapide du chantier, si une pluie s'annonce par exemple, le D7 situé à l'avant du chantier reviennent en arrière pour seconder le D7 de terrassement. Cela permet d'accélérer l'étalement des matériaux sur la route pour permettre de faire un compactage rapide et de réaliser les travaux de gestion des eaux de ruissellement afin que la route ne soit pas dégradée par les intempéries. Les travaux sont ainsi sécurisés et il ne sera pas nécessaire de reprendre ces travaux après la pluie.*

Ce schéma de fonctionnement est théorique. Il est important de retenir que le positionnement des D7 sur les différents postes de travail doit être adapté à tout moment de manière à maintenir la cohérence de l'échelon (la déforestation ne doit pas prendre trop d'avance sur le terrassement et la pelle ne doit jamais s'arrêter de fonctionner par manque de zone d'emprunt décapées).

Ainsi, les bonnes techniques à mettre en œuvre sont connues et sont documentées.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

1.3.3 BILAN DE L'ETAT DE L'ART

En conclusion de cette revue bibliographique, il s'avère qu'il n'existe actuellement pas de solution de planification de pistes forestières permettant d'englober à la fois la gestion des contraintes, les aspects économiques et les aspects environnementaux. De plus, les solutions actuelles ne sont pas complètement applicables à l'ensemble des contextes économiques et environnementaux, variés, qui peuvent être trouvés au sein du Bassin du Congo. La meilleure preuve, c'est qu'aucun des logiciels précités ne s'est répandu dans le bassin du Congo.

Par ailleurs, au sujet des méthodes de construction de pistes forestières, le problème est d'un autre ordre. Les documents, procédures, guides explicatifs et services de formations sont disponibles pour les entreprises forestières. Cependant, toujours est-il qu'il semble que leur impact et leur connaissance restent limité à une poignée d'entreprises forestières (5 à 10 entreprises dans le bassin du Congo).



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

2 SOLUTION PROPOSEE

C'est donc pour apporter une solution adaptée aux entreprises forestières, que BFConsult et R&SD Technology proposent au financement du PPECF le développement d'une **solution complète** permettant de répondre aux besoins des entreprises forestières du Bassin du Congo. La solution proposée s'articule en deux volets :

2.1 VOLET 1 : PLANIFICATION DES PISTES FORESTIERES :

L'idée est de proposer aux entreprises forestières, un outil complet d'aide à la planification des pistes forestières et de gestions des contraintes. Cet outil prend la forme d'une application SIG et serait à la fois un outil de conception pour la cartographe, ainsi qu'un outil d'aide à la décision pour le gestionnaire forestier. Cet outil, qui constitue la partie centrale de ce volet et du projet, objet du présent document, est détaillé à partie de la section 3.

Cependant, le développement et la mise à disposition d'une application uniquement ne permet pas de garantir sa bonne appropriation et sa bonne utilisation par les entreprises forestières sans une formation sur le concept même de la planification et de la construction d'un réseau de pistes. Ainsi l'application SIG s'accompagnera d'un ensemble de supports et de journées de formations.

Un intérêt supplémentaire à la réalisation des supports complémentaires au développement de l'application SIG est qu'ils pourront intégrer la boîte à outils certification du PPECF, développée dans le cadre du contrat d'assistance technique signé avec Oréade-Brèche. En effet, la boîte à outils certification ne dispose pas de supports pratiques de terrain traitant en détail de la planification et de la construction des pistes forestières et fera un renvoi à l'application ici proposée au financement du PPECF.

2.2 VOLET 2 : CONSTRUCTION DE PISTES FORESTIERES :

Ce second volet sera accès sur la bonne mise en œuvre de la planification des pistes forestières sur le terrain au travers des activités de construction du réseau de pistes. Cet aspect est important car même la meilleure planification ne saurait être efficace si elle n'est pas correctement mise en œuvre sur le terrain ou qu'elle dépasse les moyens matériels dont dispose le concessionnaire. Pour traiter ce sujet, il ne semble pas utile de produire de nouveau supports documentaires. Des supports de qualité existent déjà.

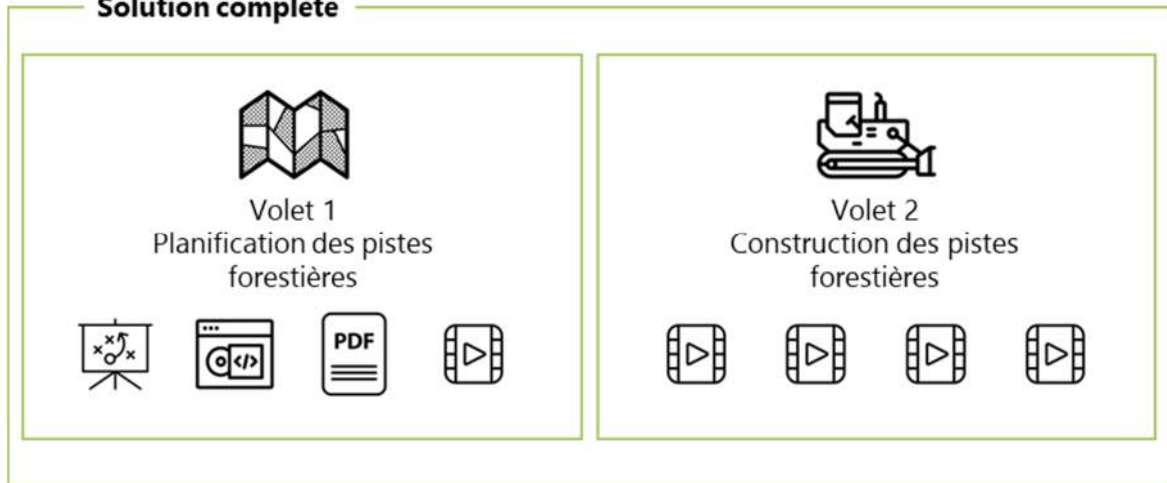
En revanche, il serait intéressant de revoir l'approche, en proposant cette fois des vidéos explicatives sous forme de « tutoriels métier » qui reprendraient le contenu des supports documentaires, en cherchant à les présenter sous un format plus simple, plus accessible aux opérateurs de terrain : chef d'exploitation, chef de chantier, chef de brigade routière et conducteurs d'engins. *

Les vidéos proposées au financement du PPECF répondront à ce besoin, sous la forme de vidéos en **motion design** permettant d'illustrer des principes, des suites d'étapes, leurs interactions etc.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Solution complète



VOLET 1 : PLANIFICATION DES PISTES FORESTIERES

- un **support de formation illustré** traitant de la planification et de sa mise en œuvre d'un réseau de pistes forestières et traitant des particularités liées aux contextes topographiques retrouvés au sein du Bassin du Congo ;
- une **vidéo** explicative sur la méthode de planification des pistes forestières ;
- un **document explicatif** présentant les méthodes et bonnes pratiques afin de préparer des jeux de données cartographiques utiles à la planification des pistes forestières.
- une **application SIG** d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, parcs et pistes de débardage), en fonction de paramètres environnementaux et économiques, dont la minimisation des émissions de GES ;
- des **journées de formation** auprès des gestionnaires forestiers et des cartographes¹³.

VOLET 2 : CONSTRUCTION DES PISTES FORESTIERES

- une **vidéo explicative** sur la gestion d'une brigade routière (équipe route) et la planification des opérations de construction et d'entretien du réseau routier ;
- une **vidéo explicative** sur les méthodes EFIR de construction de routes forestières ;
- une **vidéo explicative** sur les méthodes EFIR d'ouverture et de mise en œuvre des réseaux de pistes de débardage ;
- une **vidéo explicative** sur les méthodes EFIR de construction d'ouvrages d'art.

¹³ Dont la forme est à définir. Formations par entreprise, par pays, en présentiel ou à distance.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3 APPLICATION DE PLANIFICATION DES PISTES FORESTIERES

3.1 OBJECTIFS DE L'APPLICATION

Les objectifs de l'application sont multiples. Il s'agit, au travers du développement d'une application, de :

- Fournir un outil de planification automatisé au gestionnaire forestier (concessionnaire), produisant un découpage de zones de coupe en poches d'exploitation et concevant des tracés de pistes forestières en fonction de paramètres personnalisables de façon à répondre à différents contextes, spécifiques aux utilisateurs ;
- Plus largement, fournir aisément des cartes de planification des réseaux de pistes forestières (routes, parcs et pistes forestières) basées sur des données implémentées dans l'application (exemple la composition de la brigade routière y compris la fiabilité de chaque engin), et aussi des données terrains collectés lors de l'inventaire d'exploitation (exemple : les essences à exploiter prioritairement) et à partir de cartes topographiques ;
- Fournir des données chiffrées sur les coûts des opérations de construction ;
- Fournir des données chiffrées sur les impacts environnementaux de la planification des pistes forestières sur les assiettes de coupes annuelles, afin de pouvoir les comparer ex-post aux données collectées grâce à la mise en œuvre de méthodologies et d'outils de suivi et d'évaluation des impacts environnementaux (notamment ceux élaborés par le référentiel RIL-C ou équivalent, i.e. : le Code Régional d'Exploitation Forestière à Impact Réduit.

Cette application deviendra partie intégrante de la boîte à outils de la cellule aménagement de l'entreprise. Elle permettra de choisir et de mettre en place des réseaux de pistes forestières (routes, parcs et pistes de débardage) fiables et optimisés sur les plans économique et environnemental, à partir des données implémentées dans l'application et aussi de données préalablement collectées sur le terrain.

L'application possède également une certaine complémentarité avec la *Suite d'assistants numériques mobiles pour le monitoring EFIR et HSE des pratiques d'exploitations forestière et leurs réductions des émissions carbonées associées*, également développée par BFCconsult (Contrat C231). En effet les données collectées grâce à cet outil via son interface « RIL-C » pourront être utilisées et valorisées dans l'application SIG objet de la présente note.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

L'utilisation conjointe de ces applications permettra aux utilisateurs de disposer d'outils performants et complémentaires de planification, de suivi et d'amélioration continue de leurs performances, leur maîtrise et leurs procédés de réduction de leur impact environnemental, notamment la réduction des émissions carbone.

Les résultats de l'application pourront aussi être valorisés à travers la politique RSE des entreprises et une communication éco-responsable auprès de clients et d'une opinion publique toujours plus attentive aux enjeux liés au changement climatique.

A propos du mécanisme de partage de production :

Le projet d'application proposé sera capable de tenir compte des modifications et complexifications apportées à la gestion forestière induites par la mise en application des mécanismes de partage de production actuellement en discussion dans la sous-région¹⁴.

3.2 CIBLES

L'application cible principalement :

- les cellules aménagement des entreprises et en particulier les cartographes, qui en seront les principaux utilisateurs ;
- les managers qui pourront, à partir de différents projets de réseaux (solutions) ; étudier et maîtriser les coûts et les impacts de chacun d'eux, et opter en connaissance de cause, pour l'un d'eux ;
- le personnel terrain en charge d'exécuter les travaux de planification aux moyens des projets retenus.

3.3 PREREQUIS

L'application repose sur la réalisation préalable d'un bon inventaire d'exploitation et dépend, évidemment, d'un minimum d'informations cartographiques utilisées couramment, lors de l'élaboration des projets routiers (MNT, réseau hydrologique, réseau routier etc.) et d'informations à implémenter dans l'application.

La production du document explicatif présentant les méthodes et bonnes pratiques afin de préparer des jeux de données cartographiques utiles à la planification des pistes forestières prend ici tout son sens. En effet il permettra de s'assurer que l'utilisateur possède les connaissances afin de répondre aux prérequis conseillés pour une utilisation optimale de l'application.

¹⁴ 2022, FRMi, Résumé de l'étude et des résultats sur le « Partage de Production » au Congo



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.4 FONCTIONNEMENT DE L'APPLICATION

L'application est construite autour de 3 modules principaux :

- **Module 1** : Découpage en poches d'une zone de coupe ;
- **Module 2** : Conception du réseau de pistes forestières au sein de la zone de coupe ;
 - 2.1 : Conception du réseau de routes et d'ouvrage d'art
 - 2.2 : Conception du réseau de pistes de débardage et de parcs
- **Module 3** : Analyse du réseau de pistes forestières au sein de la zone de coupe.

Chaque module fonctionne en 4 étapes :

1. **Présentation de données en entrée** : L'utilisateur charge les données requises dans le module. Certaines données standard (avec intervalles) pourront être déjà présentes dans l'application.
2. **Paramétrage du module** : L'utilisateur paramètre le module. Par exemple il peut être amené à donner une valeur à des variables fixes (coût de construction de route ou pistes de débardage par kilomètre). Des données standard pourront être déjà présentes dans l'application mais pourront être modifiées par l'utilisateur en fonction de sa situation spécifique et des informations qu'il dispose. C'est notamment lors de ce paramétrage que l'utilisateur pourra utiliser ses propres données, récoltées lors d'études spécifiques ou bien de contrôles internes¹⁵. Lors de cette étape, l'utilisateur sera amené à définir la priorité des critères retenus (un peu comme les options des GPS automobiles qui offrent le choix, entre les trajets les plus courts, les plus rapides, etc.). Il définira donc, un ordre de priorité pour les critères et l'application générera un projet de pistes forestières (emplacement des routes, ouvrages d'art, parcs et pistes de débardage) en fonction des ordres de priorité définis. Ainsi, une modification de l'ordre de priorité des critères permettra de générer des projets de pistes forestières différents, qui seront ensuite comparables entre eux, sur leur impact environnemental, social et économique.
3. **Traitement des données** ;
4. **Production de données en sortie.**

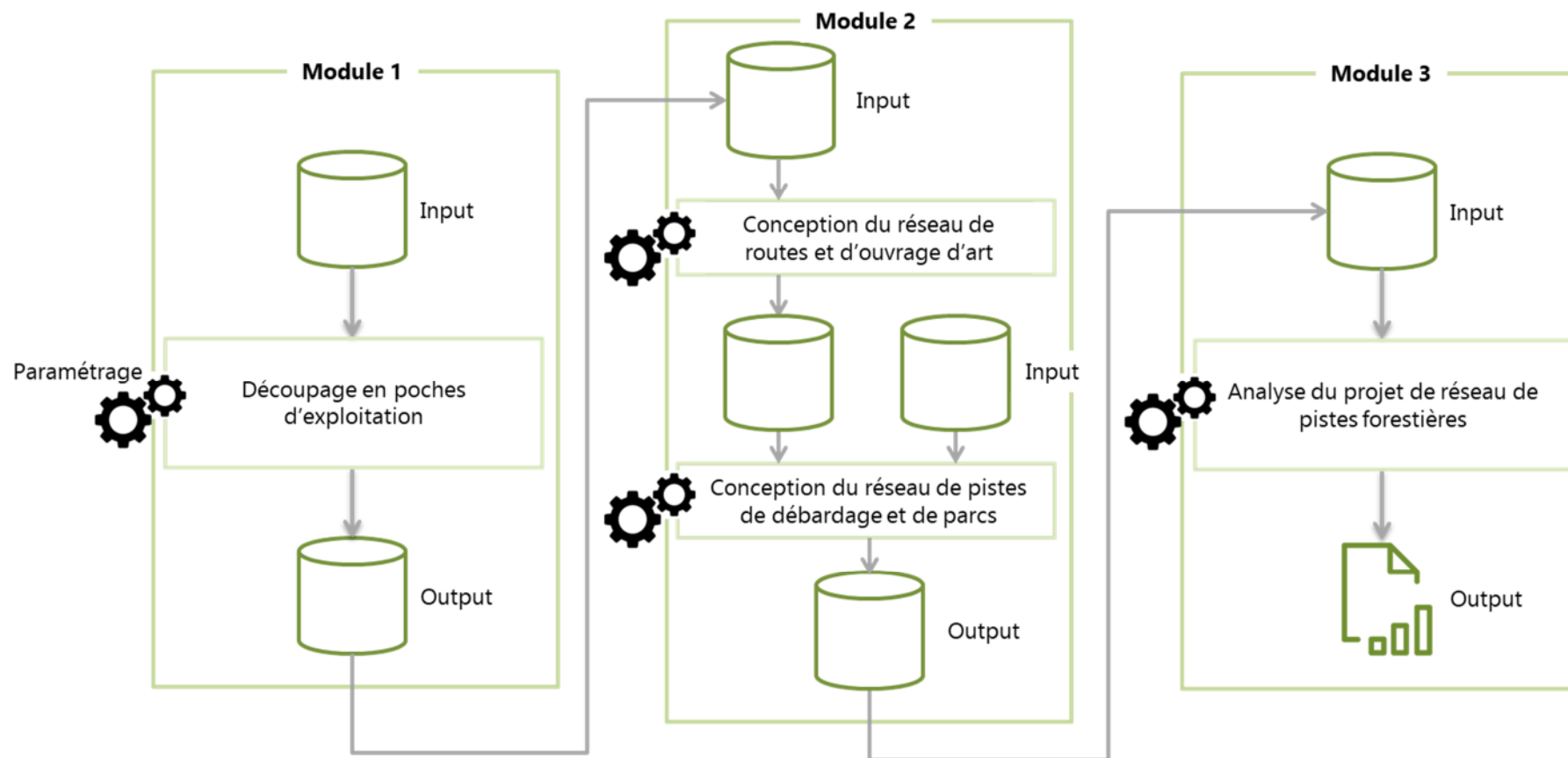
¹⁵ Suite d'assistants numériques mobiles pour le monitoring EFIR et HSE des pratiques d'exploitations forestière et leurs réductions des émissions carbonées associées, développée par BFCconsult.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

La Figure 2 ci-dessous présente le fonctionnement général de l'application.

Figure 2 : Schéma de fonctionnement général de l'application





Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.4.1 MODULE 1 : DECOPAGE EN POCHE D'EXPLOITATION

A l'aide des données fournies en entrée, l'application commencera par un premier de découpage de la zone de coupe retenue en poches d'exploitation en fonction de la topographie et de l'hydrographie.

Le détail des résultats attendus pour cette étape est présenté dans la partie 4.

Le Tableau 2 ci-dessous présente une première estimation de ce que seraient les données en entrée et les critères de paramétrage ainsi que les produits en sortie.

Tableau 2 : Données en entrée, critères de paramétrage et données en sortie du module 1

DONNEES EN ENTREE				CRITERES DE PARAMETRAGE			PRODUITS EN SORTIE	
LIBELLE	FORMAT FICHIER	SOURCE		LIBELLE	SOURCE		LIBELLE	FORMAT FICHIER
		UTILISATEUR	APPLICATION		UTILISATEUR	APPLICATION		
Périmètre de la zone de coupe	vectorel (.shp) polylignes	✓		Surface minimale par poche	✓	✓	Découpage de la zone en poches d'exploitation	vectorel (.shp) polygones
Cours d'eau	vectorel (.shp) polylignes	✓	✓	Surface maximale par poche	✓	✓		
Modèle numérique de terrain ¹⁶	raster (.tiff)	✓	✓					

¹⁶ De base, un MNT (type SRTM) sera disponible dans l'application. Les entreprises auront la possibilité d'utiliser leurs propres données topographiques, collectées par survols LIDAR par exemple, et qui offrent l'avantage d'être plus précises.

La *Suite d'assistants numériques mobiles pour le monitoring EFIR et HSE des pratiques d'exploitations forestière et leurs réductions des émissions carbone associées* développée par BFCconsult donnera l'occasion de collecter et vérifier les informations topographiques, ce qui permettra d'évaluer la qualité des données topographiques possédées par l'entreprise et utilisées dans l'application. Ceci pourra permettre à l'entreprise de juger du besoin d'acquisition de données topographiques de meilleure qualité.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.4.2 MODULE 2 : CONCEPTION DU RESEAU DE PISTES FORESTIERES

Une fois le découpage en poches défini, l'application procédera à la proposition d'un tracé de réseau routier et des pistes de débardage ou d'accès aux parcs, en suivant les principes suivants (liste non exhaustive) :

- Le périmètre de la zone de coupe présentée en entrée de l'application exclura les zones protégées ou séries de conservation ;
- L'application cherchera à réutiliser en priorité le réseau routier existant ;
- L'application cherchera à impacter au minimum les arbres non exploitables, tiges d'avenir, arbres protégés, etc. ;
- L'application visera un rendu de projet routier en sortie de traitement qui ne demandera qu'un minimum, voire pas du tout, de retouches manuelles de la part du cartographe ;
- L'application favorisera le positionnement des routes, ouvrages d'art, parcs et pistes de débardage dans les zones à fortes densités de tiges exploitables¹⁷ selon, un panel d'essences choisi ;
- L'application sera conçue de manière à proposer des projets de pistes réalisables sur le terrain, qui à la fois optimisent l'efficacité du réseau pour l'exploitation et minimisent ses impacts mais qui également les rendent cohérents avec les réalités du terrain et praticables pour les véhicules lourds (exemple : adoucissement des angles dans les virages, pentes maximales en charge) ;
- L'éclairage est-ouest des pistes, pour favoriser leur ensoleillement et réduire le risque d'installation des bourbiers.

L'application pourra ainsi générer plusieurs projets routiers différents selon les options de paramétrages et de priorisation des critères définis par l'utilisateur (y compris la composition de la brigade routière de manière à pouvoir faire des ajustements (achat ou location) sur base de résultats des simulations).

L'application ne tiendra pas compte de la texture des sols dans cette première version. En effet, ces données sont actuellement faiblement disponibles, ou trop peu précise quand elles le sont. Par conséquent, il ne serait pour le moment pas pertinent d'intégrer cette variable dans la planification des pistes forestières.

Le détail des résultats attendus à cette étape est présenté dans la partie 4. Le Tableau 3 ci-dessous présente une première estimation de ce que seraient les données en entrée et les critères de paramétrage ainsi que les produits en sortie.

¹⁷ Dans cette première version de l'application, celle-ci cherchera à connecter tous les arbres définis comme exploitables en entrée du module et ne procédera pas à un tri identifiant et/ou excluant les arbres jugés trop coûteux à collecter. Cet aspect pourrait être traité lors d'une seconde phase de développement.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Tableau 3 : Données en entrée, informations de paramétrage et données en sortie du module 2

DONNEES EN ENTREE				CRITERES DE PARAMETRAGE			PRODUITS EN SORTIE	
LIBELLE	FORMAT FICHER	SOURCE		LIBELLE	SOURCE		LIBELLE	FORMAT FICHER
		UTILISATEUR	APPLICATION		UTILISATEUR	APPLICATION		
Découpage de la zone en poches d'exploitation	vectériel (.shp) polygones		✓ (sortie module 1)	Coût financier par type de piste, parcs et ouvrage d'art	✓	✓	Réseau routier (pistes principales et pistes secondaires)	vectériel (.shp) polylignes
Périmètre de la zone de coupe	vectériel (.shp) polyligne	✓		Empreinte carbone par type de piste, parcs et ouvrage d'art		✓	Localisation des ouvrages d'art	vectériel (.shp) points
Positionnement des arbres exploitables (incluant leurs diamètres, le type d'essence, etc. ¹⁸)	vectériel (.shp) point	✓		Surface minimale d'un parc	✓	✓	Réseau de pistes de débardage	vectériel (.shp) polylignes
Cours d'eau	vectériel (.shp) polyligne	✓	✓	Surface maximale d'un parc	✓	✓	Localisation des parcs	vectériel (.shp) points
Sites protégés et obstacles (passage interdit)	vectériel (.shp) polygone	✓		Distance maximum de débardage	✓	✓		
Arbres protégés, obstacles (passage interdit)	vectériel (.shp) point	✓		Pentes maximales par type de piste forestière	✓	✓		
Réseau routier existant et routes ou pistes réutilisables	vectériel (.shp) polyligne	✓		Largeur de chaque type de piste forestière	✓	✓		
Modèle numérique de terrain	raster (.tiff)	✓	✓					

¹⁸ Les arbres exploitables sont sélectionnés par le cartographe de l'entreprise en fonctions du plan d'aménagement, des essences objectifs, des DMA, choix d'exploitation, des critères de retrait d'un arbre (exemple : bord de cours d'eau), etc.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.4.3 MODULE 3 : ANALYSE DU RESEAU DE PISTES FORESTIERES

L'application procèdera ensuite à l'analyse de l'impact environnemental et des coûts du projet de routes, parcs et pistes de débardage et présentera les résultats sous forme de tableaux comparatifs.

Le détail des résultats attendus à cette étape est présenté dans la partie 4.

Cette étape d'analyse du projet routier pourra être menée indépendamment. Cet outil donnera donc également la possibilité d'analyser les impacts environnementaux d'un projet de pistes déjà conduit et dont les données sont collectées lors d'un bilan post-exploitation.

Le Tableau 4 ci-dessous présente une première estimation de ce que seraient les données en entrée et les critères de paramétrage ainsi que les produits en sortie.

Tableau 4 : Données en entrée, informations de paramétrage et données en sortie du module 3

DONNEES EN ENTREE				CRITERES DE PARAMETRAGE			PRODUITS EN SORTIE	
LIBELLE	FORMAT FICHER	SOURCE		LIBELLE	SOURCE		LIBELLE	FORMAT FICHER
		UTILISATEUR	APPLICATION		UTILISATEUR	APPLICATION		
Réseau routier (pistes principales et pistes secondaires)	vectorel (.shp) polylignes	✓	✓ (sortie module 2)	Coût financier par type de piste, parcs et ouvrage d'art	✓	✓	Rapport récapitulatif des performances du réseau de pistes forestières, ouvrages d'art et parcs (impact environnemental, coût et temps de construction)	tableur (.csv)
Localisation des ouvrages d'art	vectorel (.shp) points	✓	✓ (sortie module 2)	Empreinte carbone par type de piste, parcs et ouvrage d'art		✓		
Réseau de pistes de débardage	vectorel (.shp) polylignes	✓	✓ (sortie module 2)	Temps d'ouverture par type de piste, parcs et ouvrage d'art	✓	✓	Nombre de tiges et volume exploitable par essence	tableur (.csv)



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

DONNEES EN ENTREE				CRITERES DE PARAMETRAGE			PRODUITS EN SORTIE	
LIBELLE	FORMAT FICHER	SOURCE		LIBELLE	SOURCE		LIBELLE	FORMAT FICHER
		UTILISATEUR	APPLICATION		UTILISATEUR	APPLICATION		
Localisation des parcs	vectériel (.shp) points	✓	✓ (sortie module 2)	Nombre d'engins disponibles ¹⁹	✓	✓		
Positionnement des arbres exploitables (incluant leurs diamètres, le type d'essence, etc.	vectériel (.shp) point	✓						

3.5 INDEPENDANCE DES MODULES

L'application est conçue de manière à ce que chaque module ou partie de module (cas du module 2) puisse être utilisé indépendamment.

A chaque étape, l'utilisateur peut charger ses propres données, ou bien utiliser les données produites en résultat du module précédent. Ce qui permettra à l'utilisateur :

- Soit de retoucher manuellement le projet routier avant le passage à la prochaine étape ;
- Soit de tester et poursuivre un travail avec d'autres projets routiers conçus en dehors de l'application.

¹⁹ La modification de cette variable permettra à l'utilisateur d'analyser la performance de son réseau routier en fonction du nombre de machine disponible à un instant t pour ainsi vérifier la faisabilité de sa mise en œuvre en fonction du nombre d'engins disponible, et estimer ses besoins en location d'engins le cas échéant.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.6 RESULTATS ATTENDUS DE L'APPLICATION

Les résultats attendus sont :



Un mode opératoire d'utilisation de l'application SIG ;



Une application SIG open source permettant de générer à l'échelle d'une zone de coupe (AAC, partie d'une AAC), un projet de réseau de pistes forestières, à la suite d'une phase de paramétrage détaillant l'organisation, le fonctionnement du chantier et les contraintes possibles :



- Un fichier shape contenant des entités géographiques de type « polygones » et présentant le projet de découpage de la zone de coupe en poches. Pour chaque poche d'exploitation le fichier donnera les informations suivantes :

- ✓ Surface ;
- ✓ Nombre de tiges exploitables, par essence ;
- ✓ Volume exploitable par essence ;
- ✓ Aptitude optimale à la récolte en fonction de la saison (saison des pluies, saison sèche).



- Un fichier shape contenant des entités géographiques de type « polygones » et présentant un projet routier et pistes de débardage. Pour chaque segment de piste le fichier shape donnera les informations suivantes :

- ✓ Type de piste (principale, secondaire, piste de saison sèche, piste de débardage) ;
- ✓ Empreinte carbone (émissions en tCO₂) ;
- ✓ Longueur et largeur ;
- ✓ Les temps de construction ;
- ✓ Temps nécessaire à l'ouverture ;
- ✓ Les coordonnées géographiques de chaque extrémité du segment (en WGS 84 pour être utilisable sur l'ensemble des forêts du Bassin du Congo) ;
- ✓ L'azimut pour relier les deux extrémités du segment
- ✓ Le rappel des éléments limitants par rapport à la composition de la brigade routière renseignée.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)



• Un fichier shape contenant des entités de type « points » présentant les parcs à construire. Ce fichier donnera les informations suivantes pour chaque point :

- ✓ Empreinte carbone (émissions tCO₂) ;
- ✓ La dimension (surface) maximale du parc à construire ;
- ✓ Coût financier des travaux de construction ;
- ✓ Le temps nécessaire à la construction du parc ;
- ✓ Le nombre de fûts attendus à être débardés, total et par essence ;
- ✓ L'estimation du volume attendus à débardé, total et par essence.



• Un fichier shape contenant des entités de type « points » présentant les ouvrages d'art à construire. Ce fichier donnera les informations suivantes pour chaque point :

- ✓ Type d'ouvrage d'art selon le type de cours d'eau ou obstacle à franchir ;
- ✓ Empreinte carbone (émissions tCO₂) ;
- ✓ Coût financier des travaux de construction ;
- ✓ Temps nécessaire à la réalisation de l'ouvrage.



• Un rapport récapitulatif (Figure 3) qui présentera, pour un projet de réseau de pistes forestières :

- ✓ L'estimation de la réduction des émissions des gaz à effet de serre²⁰ ;
- ✓ La longueur et la surface totale par type de route (principale et secondaire) à ouvrir ;
- ✓ La longueur et la surface totale à ouvrir des pistes de débardage ;
- ✓ Le nombre d'ouvrages d'art total et par type d'ouvrage d'art à construire ainsi que la surface impactée ;
- ✓ Le nombre de parcs à ouvrir ainsi que la surface totale déforestée ;
- ✓ La topographie du projet routier : exemple « projet routier dont 10% des routes principales sont situées sur des pentes à 12% » ;
- ✓ Le coût financier total du projet de réseau de pistes versus le volume de bois extrait (ratio '000 FCFA/ m³) ;
- ✓ Le temps total requis pour la construction du réseau des différentes pistes forestières ;
- ✓ Le nombre de tiges exploitables totales par essence ;
- ✓ Le volume exploitable total par essence ;
- ✓ Le volume exploitable par kilomètre de route ouvert ('000 m³ / km).

²⁰ Dans une seconde phase de développement le calcul de crédits carbone correspondants négociables sur le marché volontaire (cf. ordonnance n° 019/20211 du 13 septembre 21 au Gabon)



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

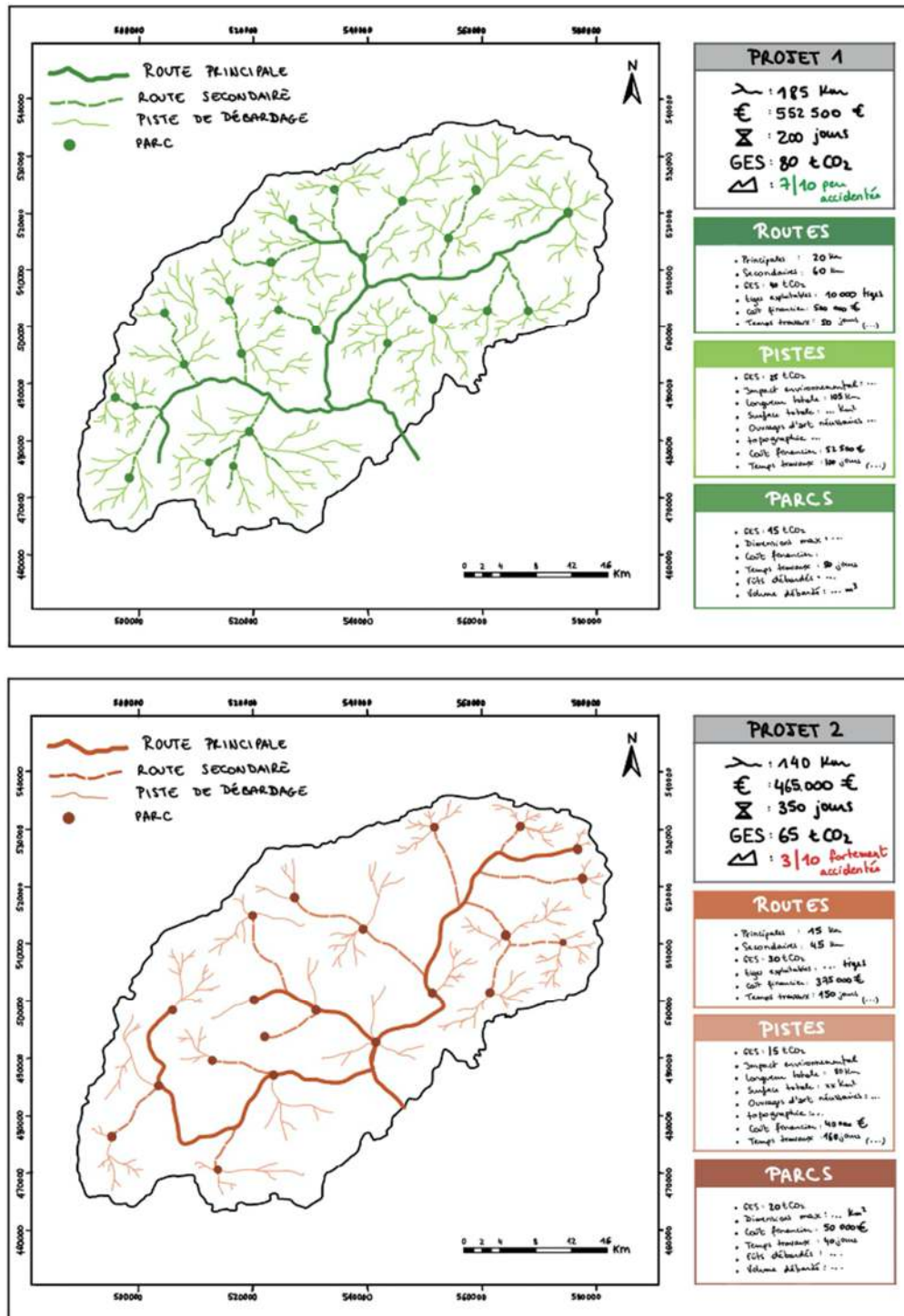


Figure 3 : Illustrations schématiques des résultats qui pourraient être obtenus de l'application



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.7 UTILISATIONS POSSIBLE DE L'APPLICATION

L'application SIG pourra être utilisée pour servir des objectifs divers.

Son utilisation la plus évidente est l'aide à la conception d'un réseau de pistes forestières à l'échelle d'une assiette annuelle de coupe (AAC). D'autres usages sont cependant possibles :

Zone d'étude à étendue variable

- Par simple modification des fichiers fournis en entrée, l'application peut également fournir les mêmes résultats à l'échelle de parties d'AAC, d'un bloc quinquennal ou même d'une concession forestière.

Evaluation de réseaux de pistes existants

- L'application peut être utilisée pour évaluer la performance d'un réseau de pistes forestière déjà ouvert. Il suffira alors de présenter les fichiers des pistes forestières cartographiées en entrée du module d'analyse ;
- Cette utilisation permettra d'apprécier les performances de l'entreprise sur plusieurs années et fournir des informations utiles à l'amélioration continue des pratiques de la société ;
- Cette utilisation pourra aussi intégrer les méthodes de calcul de réduction d'émissions carbone.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.8 ARCHITECTURE DE L'APPLICATION

L'application sera conçue, au choix du client :

1. soit développée sous forme d'une plateforme WebGIS (via des composants open source) accessible via un simple navigateur web ;
2. soit pour être directement intégrée dans un logiciel SIG ; de préférence QGIS car le logiciel est open source.

Dans les deux cas, les données produites seront facilement utilisables par le cartographe.

3.8.1 PLATEFORME WEBGIS

Une solution basée sur une plateforme WebGIS repose sur une architecture de type client / serveur (Figure 4).

Le serveur (ou back end) héberge le cœur de l'application et permet une gestion centralisée et sécurisée des données du projet, ainsi que la distribution de ces données entre les différents utilisateurs.

Le client (ou front end) représente la partie interface utilisateur avec les outils de cartographie, elle s'exécute exclusivement dans un navigateur web et ne nécessite aucune installation particulière. Cette solution permet de faire fonctionner rapidement l'outil dans des environnements très hétérogènes (PC Windows ou Mac, tablettes ou Smartphone) dès qu'il y a une connexion Internet ou un accès au réseau privé de l'entreprise.

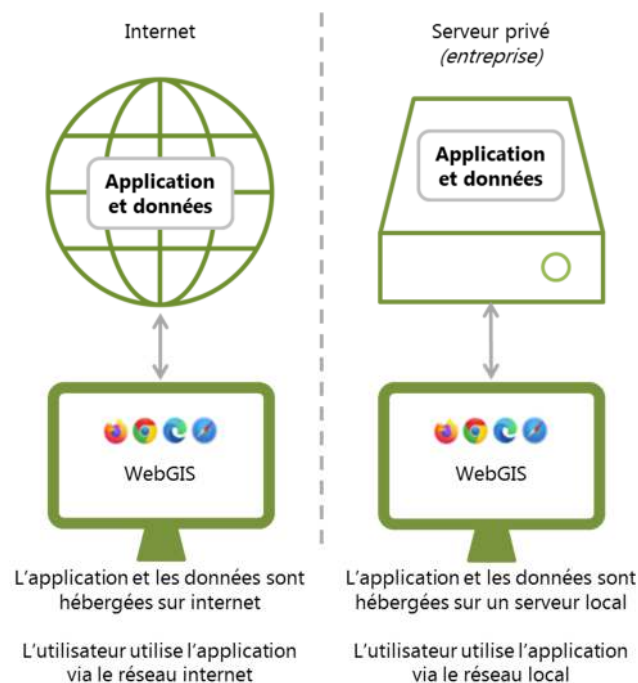


Figure 4 : Schéma du déploiement d'une solution WebGIS



Avantages de la plateforme WebGIS:



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

- Architecture et technologie plus moderne avec plusieurs scénarios de déploiement (serveur privé, SaaS) ;
- Facilité de maintenance des mises à jour et évolutions du système ;
- Bases de données cartographiques en ligne et mises à jour automatiques et disponibles pour tous les utilisateurs ;
- Sécurisation et distribution des données ;
- Facilité d'intégration et de gestion de couches externes (non fournies par les sociétés forestières), telles que fonds topo, réseaux hydrographiques, pistes et routes, etc.) ;
- Évolutif et moins coûteux sur le long terme.



Contraintes de la plateforme WebGIS :

- Nécessite une connexion internet :
 - Pour accéder à l'application ;
 - Pour transférer (upload) les données fournies en entrée du système ;
 - Pour télécharger (download) les données (shapefile) produites par le système ;
- Coût de développement initial pouvant être plus élevé que le développement d'un module QGIS.

Toutes les technologies utilisées dans cette solution sont gratuites et open source.

- Étant donné qu'il s'agit d'un outil d'aide à la décision et non un outil du quotidien du cartographe, il est tout à fait envisageable que l'entreprise assure une connexion internet suffisante à l'utilisateur pour lui permettre d'exécuter l'application.
- Dans des conditions particulières d'accès plus difficile à Internet ou au réseau, cette solution peut aussi être envisagée via un déploiement local sur un poste de travail. Cela nécessite une installation tierce de la partie serveur (back end).



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.8.2 MODULE QGIS

Cette solution s'appuie sur la plateforme QGIS. QGIS est un Système d'Information Géographique convivial et open source. Il permet de gérer et traiter de nombreux formats de données spatiales. QGIS peut également être adapté pour des besoins spécifiques grâce à une architecture d'extension par plugin.

Dans cette solution (Figure 5), l'application sera donc disponible au travers d'un plugin QGIS, téléchargeable depuis le « repository » officiel QGIS ou via une installation manuelle.

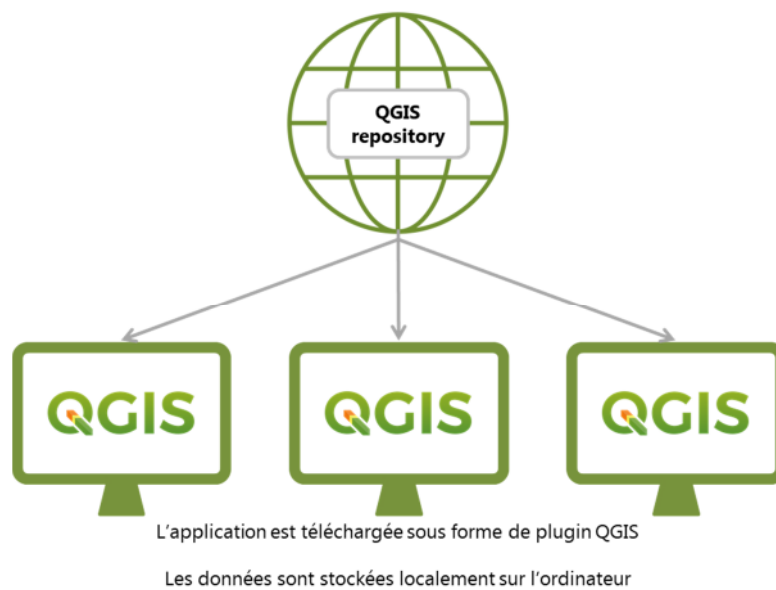


Figure 5 : Schéma du déploiement d'une solution QGIS



Avantages de la plateforme QGIS:

- Probablement moins coûteux pour le développement initial ;
- Nombreux modules applicatifs déjà existants et réutilisables, au sein du « repository » QGIS (outils topologiques et algorithmes existants) ;
- Interface cartographique et outils topologiques de base existants.



Contraintes de la plateforme QGIS :

- Gestion non centralisée des données du projet ;
- Base de données cartographiques à mettre à jour manuellement ;
- Diversité / fragmentation des environnements (version de QGIS et des modules, système d'exploitation, runtimes, etc.) ;
- Plus coûteux à terme que la solution WebGIS (maintenance évolutive).
- Moins évolutif (contrainte de l'environnement QGIS).



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.9 RECHERCHE OPERATIONNELLE ET PROGRAMMATION LINEAIRE

Par expérience, une approche purement mathématique d'un problème aussi complexe aboutit à des solutions que les experts du domaine jugent non-faisables.

Pour résoudre ces problèmes de non-faisabilité, il faut éliminer les facteurs qui feraient que la solution n'est pas réalisable, non seulement pour simplifier le modèle mathématique (pour des raisons techniques par exemple), mais aussi parce que les données en entrée ne sont pas toujours exactes, suffisantes ou de qualités. Ainsi, **la qualité de l'outil dépend de la capacité à visualiser les données et à formuler exhaustivement des contraintes en entrée**, (exclure ou prioriser des zones, proposer des raccourcis, compléter ou pré-qualifier de la donnée existante en créant de nouvelles échelles de valeur, etc.) et dont le jeu de contraintes en entrée pourrait être sous forme d'inéquations "supérieure à" ou "inférieure à".

Finalement, la **programmation linéaire** est un outil mathématique standard largement éprouvé et utilisé depuis des décennies dans de nombreux domaines et répond parfaitement à la problématique d'optimisation de réseaux de pistes forestières.

C'est donc dans ce cadre que qu'intervient l'expertise combinée de Dr. Carlo Muller (Appendice 4) et de R&SD Technology. Ces derniers disposent de compétences techniques dans les domaines de la recherche opérationnelle et l'application des concepts de génie logiciel à la résolution de problèmes difficiles, impliquant non seulement **des modèles et des équations mathématiques, mais aussi l'expertise humaine sous forme de connaissances expertes**.

En résumé, l'optimisation guidée par des experts, telle que mise en œuvre dans le projet présenté, est un concept puissant qui a été appliqué à la résolution de problèmes dans de nombreux domaines différents. Ce qu'il faut retenir de cette expérience, c'est le caractère essentiel de combiner l'approche recherche opérationnelle via l'outil de programmation linéaire et la prise en compte des informations connues des experts du domaine sur le terrain.

En effet, par expérience, une approche purement mathématique d'un problème aussi complexe aboutit à des solutions que les experts du domaine jugent non-faisable. Pour résoudre ces problèmes de non-faisabilité, il faut éliminer les facteurs qui feraient que la solution n'est pas réalisable, non seulement pour simplifier le modèle mathématique (pour des raisons techniques par exemple), mais aussi parce que les données en entrée ne sont pas toujours exactes, suffisantes ou de qualités. Ainsi, la qualité de l'outil dépend de la capacité à visualiser les données et à formuler des contraintes en entrée (exclure ou prioriser des zones, proposer des raccourcis, compléter ou pré-qualifier de la donnée existante en créant de nouvelles échelles de valeur, etc.). Finalement, la PROGRAMMATION LINÉAIRE est un outil mathématique standard largement éprouvé et utilisé depuis des décennies dans de nombreux domaines et répond parfaitement à la problématique d'optimisation de réseaux de pistes forestières.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Un exemple de projet similaire mené par l'expert et dans lequel ces éléments ont été rassemblés est le développement d'une solution logicielle visant à l'élaboration de plans miniers optimaux dans des carrières qui fournissent les matières premières pour la production de ciment. Des extraits de la description de l'algorithme de cette solution logicielle sont repris ci-dessous. A titre d'exemple, la description du projet du développement d'une solution logicielle visant à l'élaboration de plans miniers optimaux dans des carrières est reprise en Annexe 2.

3.6 Truck Restrictions

During a mining period, a truck k drives r_{jk} -times to the block j and loads totally x_{jk} tons there. Each drive takes t_{jk} hours, so it takes $r_{jk} t_{jk}$ hours to transport the tonnage x_{jk} . The "cycle times" t_{jk} ($j = 1..N, k = 1..K$) are parameters of the problem and are specified by the user. Each time the truck loads L_k tons (its pay load = capacity). Hence,

$$r_{jk} L_k = x_{jk} \quad (34)$$

or equivalently

$$r_{jk} = x_{jk} / L_k \quad (35)$$

The truck k spends totally T_{jk} hours at the block j :

$$T_{jk} = r_{jk} t_{jk} = x_{jk} t_{jk} / L_k \quad (36)$$

The total working time of the truck k , which is spent at all blocks, is:

$$T_k = \sum_j T_{jk} = \sum_j (t_{jk} / L_k) x_{jk} \quad (j = 1..N) \quad (37)$$

The total working time of each truck k is restricted by bounds that are equal for all trucks:

$$T^{\min} \leq T_k \leq T^{\max} \quad (k = 1..K) \quad (38)$$

By substituting (35) into (36) we get K time inequalities:

$$T^{\min} \leq \sum_{j=1..N} (t_{jk} / L_k) x_{jk} \leq T^{\max} \quad (k = 1..K) \quad (39a)$$

(This inequality can be multiplied by L_k to reduce the number of divisions). Forced trucks are handled by replacing (39a) by:

$$T^{\max} \leq \sum_{j=1..N} (t_{jk} / L_k) x_{jk} \leq T^{\max} \quad \text{for forced trucks } k \quad (39b)$$

Remark. The frequencies r_{jk} that can be computed from the optimal solution \mathbf{x} using (35) are generally fractional numbers. E.g. the truck 1 drives 3.27-times to the block 1, etc. The user must interpret this result with caution. Especially, if the frequencies are rounded to integers, the obtained solution is not necessarily optimal in the space of integer number as it could be obtained by integer programming.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

3.10 DETAILS DE DEVELOPPEMENT

Indépendamment du choix de l'architecture, certains détails concernant l'implémentation de l'application sont présentés dans cette section.

La modélisation de problèmes telle qu'évoquée dans ce projet n'est pas triviale. En effet, elle fait intervenir de nombreuses variables et contraintes. La résolution de ces problèmes consiste à trouver la solution optimale parmi un nombre très élevé de possibilités. En général, il est nécessaire de faire appel à des outils mathématiques tels que la programmation linéaire. Beaucoup de problèmes réels de recherche opérationnelle peuvent être exprimés comme un problème de programmation linéaire, et suppose que les solutions à trouver doivent être représentées en variables réelles. Ainsi le problème peut être exprimé sous la forme de variables, de contraintes et d'une fonction d'optimisation à minimiser ou maximiser.

C'est pourquoi, un soin particulier sera apporté lors de la phase d'analyse du projet afin de correctement modéliser le problème d'optimisation de la planification des différents réseaux de pistes forestières.

Fort heureusement il existe des bibliothèques éprouvées, gratuites et open source pour utiliser facilement ces outils dans un programme informatique. C'est le cas par exemple de Google OR-tools qui propose des solveurs de programmation linéaire et des algorithmes de graphe pour la recherche du plus court chemin par exemple.

Pour plus d'information :

- Optimisation linéaire : https://fr.wikipedia.org/wiki/Optimisation_linéaire
- Google OR-Tools: <https://developers.google.com/optimization/introduction/overview>

Le développement de l'application se déroulera suivant 4 étapes principales correspondant aux premières phases de travail présentées dans le programme d'intervention (section 0). La Figure 6 illustre la succession des étapes de développement de l'application :

- 1. Préparation de la structure de l'application :** Lors de cette phase seront préparé divers supports visant à formaliser la réflexion du forestier en matière de planification des pistes forestières. Elle vise aussi à définir les besoins et les attentes en termes d'inputs de variables et d'outputs. Des schémas fonctionnels seront produits (voir section 4.1).
- 2. Traduction de la compétence métier et des besoins en langage informatique :** Cette phase vise à produire des supports permettant la compréhension de la compétence métier (forêt) pour les experts mathématicien et informatique. Un **DSD (Dossier des Spécifications Détaillées)** sera produit. Ce document a pour objectif de définir l'ensemble des fonctionnalités présentent dans l'application et de les décrire en détails.
C'est également durant cette étape que sera produit le modèle mathématique permettant à l'application de planifier les pistes forestières sur base des variables qui auront été définies durant la première phase de travail (voir section 4.2).



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

- 3. Développement informatique de l'application :** Cette étape visera à développer l'application à proprement parler (développement de l'architecture, interface, intégration du modèle informatique). Cette phase débutera par la préparation d'un **DCO (Dossier d'architecture et de conception)**. C'est un ensemble de documents détaillés techniques rédigés par l'architecte IT à destination des développeurs. Il permet de décrire en détail les étapes d'implémentation et l'architecture de l'application. Ces documents décrivent notamment les aspects suivants. Ce document sera ensuite mis en œuvre par les développeurs informatiques, jusqu'à l'obtention d'une version alpha de l'application, accessible par les utilisateurs pilotes (voir section 4.3).
- 4. Déploiement de l'application :** Cette étape permettra de tester, collecter et de traiter les commentaires des utilisateurs pilotes et débouchera sur la livraison d'une version beta publique de l'application.

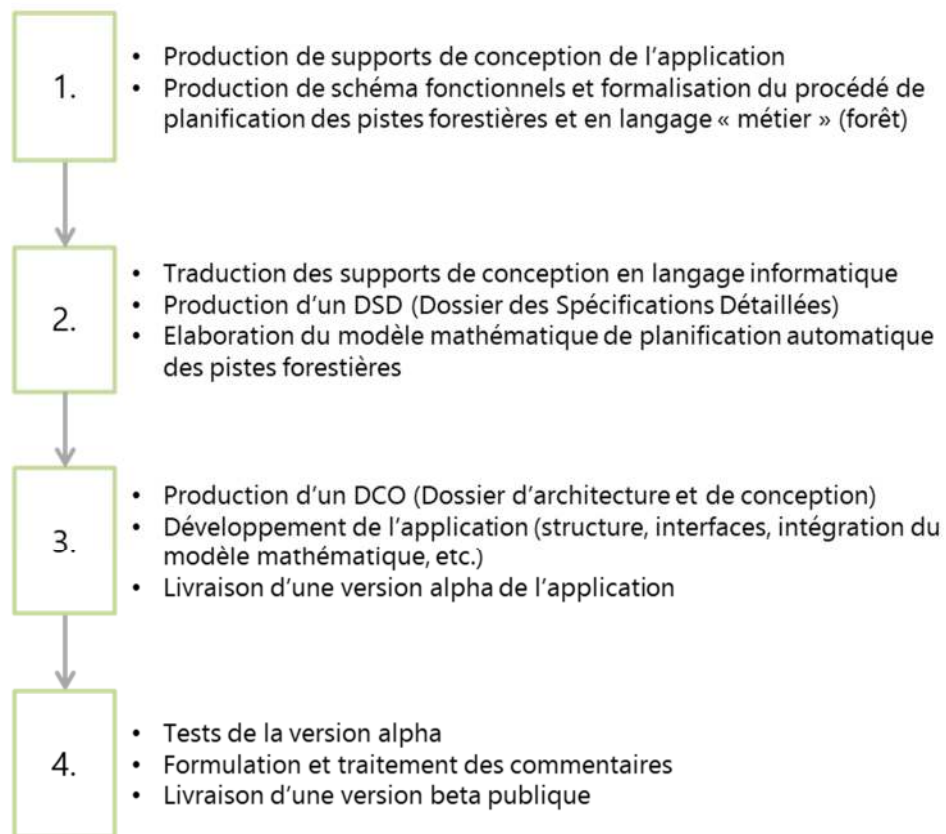


Figure 6 : Schéma des étapes de conception et de développement de l'application.

La méthode agile SCRUM (Figure 7) sera utilisée pour l'implémentation de l'application. Le séquençage du SCRUM est caractérisé par des périodes courtes de durées égales et répétitives dans lesquelles sont implémentées une ou plusieurs User Stories, qui forment des itérations (boucle orange dans le schéma ci-dessous). Ces itérations se terminent par des livraisons (lots ou groupe de lots). Chaque livraison constitue un incrément qui sera complété, modifié ou affiné lors de la prochaine itération.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

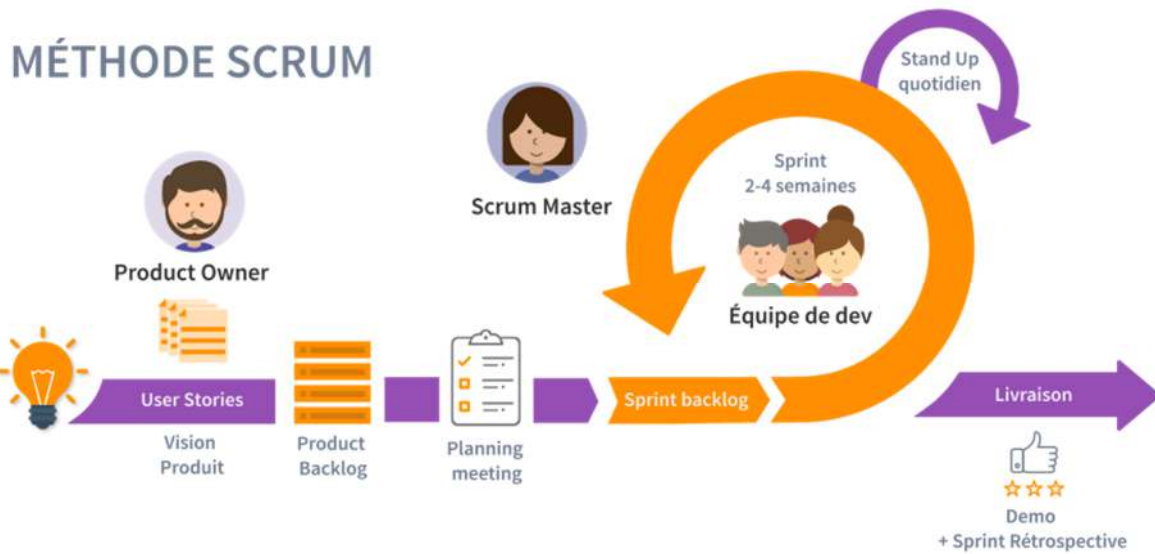


Figure 7 : Schéma de fonctionnement de la méthode SCRUM

3.11 CHOIX DE L'ARCHITECTURE

À ce stade de la réflexion, l'option 1 (plateforme WebGIS) représente la solution la plus avantageuse. Les besoins financiers estimés et décrit à la section 6.2 ont été calculés pour cette option

En effet, même si les coûts initiaux de développement sont potentiellement plus élevés que la solution 2 (QGIS), celle-ci présente les avantages suivants :

- **Évolutivité** : Une plateforme développée spécifiquement permet de concevoir des fonctionnalités plus adaptées aux besoins des utilisateurs cibles, que ce soit en termes d'outils, d'ergonomie, de reporting mais aussi d'intégration avec d'autres systèmes ;
- **Maintenabilité** : La plateforme WebGIS est également conçue sur base de « briques » gratuites et/ou Open Source, et hormis le navigateur web, elle ne dépend pas de l'environnement de l'utilisateur comme pour la solution QGIS (version de QGIS, des Framework Spatiaux ou du système d'exploitation) ;
- **Convivialité** : Une architecture décentralisée (de type client/serveur) réduit considérablement la complexité du point de vue utilisateur. Il n'y a pas d'installation particulière nécessaire, un navigateur web à jour suffit, pas de mises à jour fastidieuses ou de risques d'incompatibilité avec d'autres systèmes ;
- **Flexibilité** : L'avantage de construire un système depuis le début est de pouvoir choisir les briques architecturales les plus adaptées à la résolution du problème. Par exemple, les mondes Java et JavaScript offrent un très grand nombre de bibliothèques performantes et facilement intégrables pour un développeur.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

L'architecture logicielle est construite autour de frameworks et technologies gratuites et/ou open source. La proposition suivante est faite à titre indicative sur base de l'analyse préliminaire et sur l'expérience actuelle des équipes d'architecture et de développement de R&SD Technology. Certains composants pourront être modifiés à la suite d'une étude plus approfondie et à la suite de la réalisation du cahier des charges.

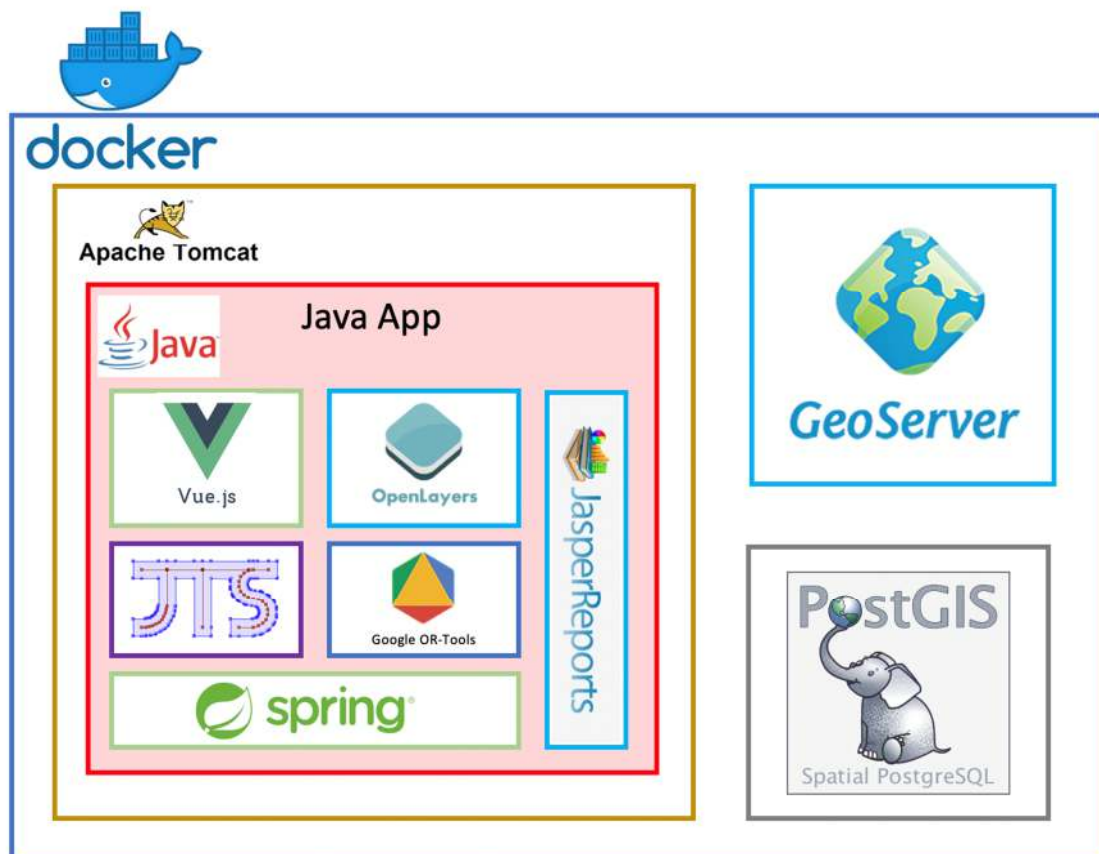


Figure 8 : Schéma de l'architecture logicielle (non définitive)

Docker

Docker est une plate-forme ouverte pour le développement, le *delivery* et l'exécution d'applications. Docker permet de séparer les applications de l'infrastructure afin de pouvoir fournir des logiciels rapidement. En tirant parti des méthodologies de Docker pour livrer, tester et déployer du code rapidement, il est possible de réduire considérablement le délai entre l'écriture du code et son exécution en production.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Apache Tomcat

Apache Tomcat est un serveur d'applications, plus précisément un conteneur web libre de servlets et JSP. Il permet l'exécution d'application web Java d'entreprise (WAR).

GeoServer

GeoServer est un serveur open source et libre écrit en Java qui permet aux utilisateurs de partager et modifier des données géographiques. Conçu pour l'interopérabilité, il publie les données de toutes les sources principales de données spatiales utilisant des normes ouvertes.

PostGIS

PostGIS est une extension de la base de données PostgreSQL, qui active la manipulation d'informations géographiques (spatiales) sous forme de géométries (points, lignes, polygones), conformément aux standards établis par l'Open Geospatial Consortium. Il permet à PostgreSQL d'être un SGBD spatial (SGBDs) pour pouvoir être utilisé par les systèmes d'informations géographiques.

VueJS

« Vue » est un framework évolutif pour construire des interfaces utilisateur. Vue a été conçu et pensé pour pouvoir être adopté de manière incrémentale. Le cœur de la bibliothèque se concentre uniquement sur la partie vue, et il est vraiment simple de l'intégrer avec d'autres bibliothèques ou projets existants. D'un autre côté, Vue est tout à fait capable de faire tourner des applications web monopages quand il est couplé avec des outils modernes et des bibliothèques complémentaires.

OpenLayers

OpenLayers permet de mettre facilement une carte dynamique dans n'importe quelle page Web. Il peut afficher des tuiles de carte, des données vectorielles et des marqueurs chargés à partir de n'importe quelle source. OpenLayers a été développé pour favoriser l'utilisation d'informations géographiques de toutes sortes. Il est entièrement gratuit et Open Source.

Java Topology Suite (JTS)

La suite de topologie JTS est une bibliothèque Java permettant de créer et de manipuler une géométrie vectorielle.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Google OR-Tools

Google OR-Tools est essentiellement l'un des outils les plus puissants introduits dans le monde de la résolution de problèmes. Google OR Tools est une suite logicielle open source pour résoudre les problèmes les plus difficiles. La suite contient :

- Un solveur de programmation par contraintes ;
- Un solveur de programmation linéaire ;
- Des Wrappers autour des solveurs commerciaux et autres open source, y compris les solveurs d'entiers mixtes ;
- Des algorithmes Bin packing et knapsack ;
- Des algorithmes pour le problème du voyageur de commerce et le problème d'acheminement des véhicules ;
- Des algorithmes de graphes (chemins les plus courts, flux de coût min, flux max, affectation de somme linéaire).

Spring

Spring rend la programmation Java plus rapide, plus facile et plus sûre pour tout le monde. L'accent mis par Spring sur la vitesse, la simplicité et la productivité en a fait le framework Java le plus populaire au monde.

Jasper Report

La bibliothèque JasperReports est le moteur de création de rapports open source le plus populaire au monde. Il est entièrement écrit en Java et il est capable d'utiliser des données provenant de tout type de source de données et de produire des documents au pixel près qui peuvent être visualisés, imprimés ou exportés dans une variété de formats de documents, notamment HTML, PDF, Excel, OpenOffice et Word.

3.12 DEPLOIEMENT DE L'APPLICATION

L'application sera mise à disposition des entreprises forestières soit (selon l'option d'architecture choisie) :

- Via la plateforme WebGIS dédiée²¹ ;
- Via le téléchargement du plugin dans le repository QGIS.

²¹ Des frais d'hébergement dont les modalités de prise en charge sont à définir sont présentés en section 6.2.4.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

4 PROGRAMME D'INTERVENTION

La mise en œuvre de cette intervention se décompose en plusieurs **phases** de travail :

4.1 PHASE 1 : STRUCTURE TECHNIQUE DE L'APPLICATION

4.1.1 ACTIVITES DE LA PHASE 1

La première phase vise à préparer un ensemble de supports utiles au démarrage des travaux informatiques.

Les supports produits seront :

- Une note descriptive « métier » du processus de planification de pistes forestières ;
- Un schéma de fonctionnement de l'application avec fonctionnalités souhaitées ;
- Une typologie des pistes forestières avec caractéristiques et avec modalités de calcul des coûts environnementaux et financiers pour chaque type de piste ;
- Une liste exhaustive des inputs, paramètres et outputs de l'application ;
- Un schéma de prise de décision pour le choix du positionnement des pistes forestières. Le but étant de schématiser la réflexion d'un cartographe ou chef d'exploitation lors de la conception manuelle d'un réseau de pistes forestières ;
- Une charte graphique, un nom et un logo pour l'application.

Des séances de travail régulières avec le client seront tenues lors de la conduite cette phase de travail afin de garantir la bonne orientation du projet et la validation progressive des éléments produits.

4.1.2 LIVRABLES DE LA PHASE 1

Les livrables attendus en fin de phase 1 sont les suivants :

- Un rapport d'avancement de la phase 1 ;
- L'ensemble des supports listés dans la section ci-dessus.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

4.2 PHASE 2 : TRADUCTION DE LA COMPÉTENCE METIER ET DES BESOINS EN LANGAGE INFORMATIQUE

4.2.1 ACTIVITES DE LA PHASE 2

La deuxième phase vise à produire la documentation détaillée nécessaire à l'implémentation de la solution. La phase 2 repose principalement sur la **programmation linéaire** soit la description mathématique du processus de planification.

DSD : Dossier des Spécifications Détaillées. Ce document a pour objectif de définir l'ensemble des fonctionnalités présent dans l'application et de les décrire en détails. C'est notamment dans ce document que sont décrits :

- Les interfaces utilisateurs (IHM ou UI) et les rapports ;
- Une description du modèle mathématique permettant d'automatiser la recherche d'une solution optimale ;
- La modélisation des données stockées par le système ;
- Définition des User Stories, des Lots testables de l'application et le planning de développement correspondant.

Le DSD fait également office de référence en termes de documentation générale et détaillée du fonctionnement de l'application. Il est destiné aussi bien à l'équipe technique pour la compréhension du métier qu'aux utilisateurs avertis.

4.2.2 LIVRABLES DE LA PHASE 2

Les livrables attendus en fin de phase 2 sont les suivants :

- Un rapport d'avancement de la phase 2 ;
- Le DSD et un ensemble de document d'analyse fonctionnelle spécifique et notamment :
 - Une description du modèle mathématique listant l'ensemble des variables et des équations et permettant d'automatiser la recherche d'une solution optimale.
- Une première version des User Stories, des Lots testables de l'application et le planning correspondant.

un document explicatif présentant les méthodes et bonnes pratiques afin de préparer des jeux de données cartographiques utiles à la planification des pistes forestières.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

4.3 PHASE 3 : DEVELOPPEMENT INFORMATIQUE DE L'APPLICATION

4.3.1 ACTIVITES DE LA PHASE 3

La troisième phase vise à implémenter et livrer les lots de l'application. Les lots ou groupes de lots testables seront déployés selon le planning prédéfini dans la phase 2, L'objectif est de pouvoir utiliser anticipativement des parties de l'application afin d'affiner des besoins et fonctionnalités de manière itérative.

DCO : Dossier d'architecture et de conception. C'est un ensemble de documents détaillés techniques rédigés par l'architecte IT à destination des développeurs. Il permet de décrire en détail les étapes d'implémentation et l'architecture de l'application. Ces documents décrivent notamment les aspects suivants ;

- Les technologies utilisées ;
- Les composants de l'architecture applicative ;
- Le modèle de données.

La définition des User Stories et de Lots livrables sera réalisée. Les lots sont des parties de l'application + ou – utilisables. Ci-dessous un découpage possible en lot :

- Lot A : Bases de l'architecture applicative, IHMs de base et maquettes semi-fonctionnelles ;
- Lot A' : Serveur de carte (GeoServer), IHM cartographique et outils spatiaux ;
- Lot B : Conception et intégration de la base de données ;
- Lot C : Moteur de résolution du problème – Définition des Use Cases ;
- Lot D : Module de Reporting ;
- Lot E : Module d'import / Export des données fournies par le système ;
- Lot F : Module d'intégration de données externes (propres à chaque entreprise forestière) ;
- Lot G : Mode Standalone / Offline.

Le découpage en lot dépendra des User Stories qui seront définies au cours de la phase 2. *

Lors de cette phase sera aussi produit le support de formation illustré permettant d'expliquer les méthodes de planification des pistes forestières. Ce support de formation sera utile en cours d'OS 4 car il permettra de s'assurer des bonnes connaissances de ces méthodes par les usagers et garantira des retours optimaux lors des tests de l'application.

4.3.2 LIVRABLES DE LA PHASE 3

Les livrables attendus en fin de phase 3 sont les suivants :

- Un rapport d'avancement de la phase 3 ;
- Le DCO et un ensemble de document d'architecture technique ;
- une version bêta de l'application accessible en ligne par des utilisateurs pilotes (préproduction) ;



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

- un support de formation illustré traitant de la planification d'un réseau de pistes forestières et traitant des particularités liées aux contextes topographiques retrouvés au sein du Bassin du Congo.

4.4 PHASE 4 : DEPLOIEMENT ET PROMOTION DE L'APPLICATION

4.4.1 ACTIVITES DE LA PHASE 4

La phase 4 débute à partir du moment où la version beta de l'application est mise en ligne. Cette phase permettra de :

- Faire la promotion de l'application auprès de futurs utilisateurs dans le Bassin du Congo en s'appuyant sur les syndicats, le réseau du PPECF et l'ATIBT ;
- Organiser des séances de travail et d'information en visio-conférence avec des groupes d'utilisateurs prédéterminés par pays ;
- Recueillir les retours et commentaires des utilisateurs ;
- Effectuer des ajustements ou corrections nécessaires au bon fonctionnement de l'application ;
- Préparer des supports visant à guider l'utilisateur lors de l'utilisation de l'application et la préparation de ses données cartographiques ;
- Préparer des supports de promotion de l'application et mener une communication auprès des différents acteurs ;
- Informer le bailleur et les utilisateurs sur les modalités retenues pour la prise en charge financière des frais de maintenance de l'application (voir 6.2.4)

4.4.2 LIVRABLES DE LA PHASE 4

Les livrables attendus en fin de phase 4 sont les suivants :

- Un rapport d'avancement de la phase 4 ;
- Une version stable de l'application mise en ligne (production) ;
- Une compilation des PV des séances de travail et d'information auprès des utilisateurs ;
- Un manuel utilisateur de l'application sous format vidéo consultable en ligne ;
- Un guide prodiguant des conseils pour le traitement des données cartographiques en sortie d'inventaire d'exploitation et le choix des données cartographiques à utiliser pour le travail de planification des pistes forestières. Ce document listera l'ensemble des données à posséder, comment les présenter, les sources de données disponibles, leurs avantages et inconvénients (exemple MNT SRTM vs. LIDAR) ;
- Une plaquette de présentation de l'application ;
- Une lettre d'information au bailleur et aux utilisateurs sur les modalités retenues pour la prise en charge financière des frais de maintenance de l'application.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

4.5 PHASE 5 : FORMATION A LA PLANIFICATION ET LA CONSTRUCTION DE PISTES FORESTIERES

La dernière phase consiste en une phase de formation et de production de supports de formation.

Un certain nombre de jours de formation seront dédiés à la formation des entreprises forestières à l'utilisation de l'application SIG. Ces formations seront dispensées lors d'ateliers dans 3 pays du Bassin du Congo (Gabon, Cameroun et Congo) ou bien à distance²². Les cartographes et responsables certification des entreprises seront invités à y participer en présentiel.

En parallèle de ces formations seront produit une série de supports vidéo visant à former les entreprises forestières à la planification et la construction de pistes forestières. Les vidéos prendront la forme de vidéo animées en 2D de type motion design, d'environ 5 minutes chacune.

4.5.1 LIVRABLES DE LA PHASE 5

Les livrables attendus en fin de phase 5 sont les suivants :

- un rapport d'avancement de la phase 5 (rapport final) ;
- des attestations de formation ;
- une vidéo explicative sur la gestion d'une brigade routière (équipe route) et la planification des opérations de construction et d'entretien du réseau routier ;
- une vidéo explicative sur les méthodes EFIR de construction de routes forestières ;
- une vidéo explicative sur les méthodes EFIR d'ouverture de pistes de débardage ;
- une vidéo explicative sur les méthodes EFIR de construction d'ouvrages d'art.

4.6 PHASE 6 : ASSISTANCE POST-DEVELOPPEMENT (HORS-BUDGET)

L'assistance post-développement comprend l'ensemble des frais nécessaires à l'hébergement et à l'entretien de la plateforme à la suite de son déploiement.

Cette assistance pourrait également inclure une maintenance évolutive (développement de nouvelles fonctionnalités souhaitées par les utilisateurs).

Les frais d'assistance post-développement informatique et d'hébergement ne sont pas compris dans la présente note et seront à prendre en charge dans un contrat spécifique avec BFConsult et R&SD Technology (voir section 6.2.4).

5 CALENDRIER DE MISE EN OEUVRE

L'intervention est estimée sur une période de 24 mois. Le chronogramme détaillé de l'intervention est présenté au Tableau 5.

²² Dans ce document, les formations sont budgétisées comme étant délivrées à distance. Les formations seront facturées sur réalisation.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Tableau 5 : Calendrier de mise en œuvre du projet

	Unité	Nb.	Mois																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
PHASE 1. STRUCTURE TECHNIQUE DE L'APPLICATION		89																								
- Description métier du processus																										
Formulation "métier" du mode opératoire pratique rencontrée sur chantier dans le cadre de la planification	jour	3																								
Formulation "métier" des besoins en informations pour prendre une décision	jour	3																								
- Typologie des pistes et modalité de calcul des coûts financier et carbone																										
Carbone	jour	2																								
Route permanente	jour	2																								
Route principale	jour	2																								
Route secondaire	jour	2																								
Epis et bretelles	jour	2																								
Route de saison sèche	jour	2																								
Ouvrages	jour	2																								
Piste de débardage	jour	2																								
Parc	jour	2																								
- Schéma de décision																										
Découpage en poche	jour	5																								
Projet de routes selon typologie	jour	5																								
Projet d'ouvrage	jour	5																								
Projet de pistes de débardage	jour	5																								
Projet de parc	jour	5																								
- Sketching de l'application																										
Sketching détaillé selon le profil administrateur	jour	10																								
Sketching détaillé selon le profil utilisateur	jour	10																								
- Schéma de fonctionnement de l'application et fonctionnalités																										
Description finale du fonctionnement souhaité	jour	2																								
Description finale des fonctionnalités souhaitées	jour	2																								
Elaboration du modèle de rapport d'analyse pour l'aide à la décision	jour	2																								



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

	Unité	Nb.	Mois																												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
- Charte graphique, Design et Logo																															
Etablissement de la charte graphique de l'application	jour	2																													
Design de l'application	jour	2																													
Conception du logo	jour	2																													
- Cahier des charges																															
Conception métier du cahier des charges	jour	4																													
Validation IT du cahier des charges	jour	2																													
- Echanges, ajustement et validation avec le PPECF	jour	2																													
PHASE 2. TRADUCTION DE LA COMPETENCE METIER ET DES BESOINS EN LANGAGE INFORMATIQUE		80																													
- Réalisation IT des spécifications fonctionnelles détaillées	jour	17																													
- Définition IT des Use Cases	jour	14																													
- Réalisation IT du dossier d'architecture et de conception																															
Choix technologiques, Modèle de données, Architecture Serveur/Client	jour	4																													
Serveur cartographique (GeoServer)	jour	2																													
Analyse programmation linéaire	jour	12																													
- Réalisation IT des maquettes (IHM)																															
Interfaces de création et paramétrage de projet (x2)	jour	1																													
Interface visualisation cartographique	jour	1																													
Interface saisie données carto (entrée manuelle carto, outils de saisie)	jour	2																													
Interface reporting	jour	1																													
Interface Gestion des couches (externes et internes) et Import/Export	jour	2																													
Maquette des exports	jour	2																													
Maquette des rapports	jour	2																													
- Accompagnement métier pour la traduction en langage informatique																															
Spécification fonctionnelles	jour	4																													
Use Cases	jour	4																													
Dossier d'architecture et de conception	jour	4																													
Maquettes	jour	4																													



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

	Unité	Nb.	Mois																												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
- Réalisation du document explicatif sur la préparation des données cartographiques																															
Rédaction du document	jour	3																													
- Echanges, ajustement et validation avec le PPECF	jour	2																													
PHASE 3. DEVELOPPEMENT INFORMATIQUE DE L'APPLICATION		232																													
- Mise en place IT de l'environnement général	jour	2																													
- Mise en place IT de l'environnement CI/CD	jour	2																													
- Mise en place initiale IT de l'architecture	jour	3																													
- Développement IT des Lots																															
Développement Lot A (UI/UX)	jour	17																													
Développement Lot A' (GeoServer - UI/UX Map & Tools)	jour	20																													
Développement Lot B (DB)	jour	10																													
Développement Lot C (LP Solver)	jour	40																													
Développement Lot D (Reporting)	jour	25																													
Développement Lot E (Import/Export)	jour	25																													
Développement Lot F (External data Integration)	jour	25																													
Développement Lot G (Offline mode) Optionnel	jour	25																													
- Accompagnement métier pour le développement informatique																															
Environnement général	jour	1																													
Environnement CI/CD	jour	1																													
Architecture	jour	1																													
Lots	jour	15																													
- Réalisation de séances de test métier sur version Alpha	jour	10																													
- Préparation du support de formation illustré sur la planification des pistes forestières																															
Rédaction du contenu du support	jour	3																													
Préparation des illustrations	jour	5																													
- Echanges, ajustement et validation avec le PPECF	jour	2																													
PHASE 4. DEPLOIEMENT ET PROMOTION DE L'APPLICATION		32																													



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

6 ESTIMATION DES BESOINS

6.1 EXPERTISE

Les besoins en expertises sont les suivants :

- 1 Expert Carbone et Gestion forestière ;
- 1 Experts en Exploitation Forestière à Impact Réduit ;
- **1 Analyste / Expert programmation linéaire ;**
- 1 Architecte / Designer IT. / Project Manager ;
- 1 Développeur IT SIG
- 1 Expert communication MotionDesign.

Les plaquettes de présentation de BFConsult et de R&SD Technology sont reprises en Appendice 3.

Les CV des experts identifiés sont repris en Annexe 4.

6.2 FINANCE

6.2.1 BUDGET TOTAL

Le coût du développement de la solution informatique est estimé à 397 150 Euros. Ces coûts concerneront les expertises suivantes :

- La compétence métier tout au long du projet :
 - Gestion forestière et Exploitation Forestière à Impact Réduit (EFIR) ;
 - Carbone.
- La programmation linéaire ;
- Développement informatique ;
- Architecture et le design IT ;
- Le déploiement et la promotion ;
- La formation à la planification et la construction de pistes forestières.

Cette estimation ne prend pas en compte les frais d'hébergement et de maintenance, qui eux sont dépendants de la technologie choisie et feront l'objet d'un contrat distinct (Cf. 6.2.4).

Le détail du budget est présenté au Tableau 2.



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Tableau 6. Détail du budget de mise en œuvre du projet

	Unité	Nb.	Coût unitaire (€)	Coût total (€)
PHASE 1. STRUCTURE TECHNIQUE DE L'APPLICATION		89		56.550
- Description métier du processus				
Formulation "métier" du mode opératoire pratique rencontrée sur chantier dans le cadre de la planification	jour	3	650	1.950
Formulation "métier" des besoins en informations pour prendre une décision	jour	3	650	1.950
- Typologie des pistes et modalité de calcul des coûts financier et carbone				
Carbone	jour	2	650	1.300
Route permanente	jour	2	650	1.300
Route principale	jour	2	650	1.300
Route secondaire	jour	2	650	1.300
Epis et bretelles	jour	2	650	1.300
Route de saison sèche	jour	2	650	1.300
Ouvrages	jour	2	650	1.300
Piste de débardage	jour	2	650	1.300
Parc	jour	2	650	1.300
- Schéma de décision				
Découpage en poche	jour	5	650	3.250
Projet de routes selon typologie	jour	5	650	3.250
Projet d'ouvrage	jour	5	650	3.250
Projet de pistes de débardage	jour	5	650	3.250
Projet de parc	jour	5	650	3.250
- Sketching de l'application				
Sketching détaillé selon le profil administrateur	jour	10	650	6.500
Sketching détaillé selon le profil utilisateur	jour	10	650	6.500
- Schéma de fonctionnement de l'application et fonctionnalités				
Description finale du fonctionnement souhaité	jour	2	650	1.300
Description finale des fonctionnalités souhaitées	jour	2	650	1.300
Elaboration du modèle de rapport d'analyse pour l'aide à la décision	jour	2	650	1.300
- Charte graphique, Design et Logo				
Etablissement de la charte graphique de l'application	jour	2	650	1.300
Design de l'application	jour	2		
Conception du logo	jour	2	650	1.300
- Cahier des charges				
Conception métier du cahier des charges	jour	4	650	2.600
Validation IT du cahier des charges	jour	2	650	1.300
- Echanges, ajustement et validation avec le PPECF	jour	2	650	1.300
PHASE 2. TRADUCTION DE LA COMPETENCE METIER ET DES BESOINS EN LANGAGE INFORMATIQUE		80		52.000
- Réalisation IT des spécifications fonctionnelles détaillées	jour	17	650	11.050
- Définition IT des Use Cases	jour	14	650	9.100
- Réalisation IT du dossier d'architecture et de conception				
Choix technologiques, Modèle de données, Architecture Serveur/Client	jour	4	650	2.600
Serveur cartographique (GeoServer)	jour	2	650	1.300
Analyse programmation linéaire	jour	12	650	7.800
- Réalisation IT des maquettes (IHM)				
Interfaces de création et paramétrage de projet (x2)	jour	1	650	650
Interface visualisation cartographique	jour	1	650	650
Interface saisie données carto (entrée manuelle carto, outils de saisie)	jour	2	650	1.300
Interface reporting	jour	1	650	650
Interface Gestion des couches (externes et internes) et Import/Export	jour	2	650	1.300



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

	Unité	Nb.	Coût unitaire (€)	Coût total (€)
Maquette des exports	jour	2	650	975
Maquette des rapports	jour	2	650	975
- Accompagnement métier pour la traduction en langage informatique				
Spécification fonctionnelles	jour	4	650	2.600
Use Cases	jour	4	650	2.600
Dossier d'architecture et de conception	jour	4	650	2.600
Maquettes	jour	4	650	2.600
- Réalisation du document explicatif sur la préparation des données cartographiques				
Rédaction du document	jour	3	650	1.950
- Echanges, ajustement et validation avec le PPECF				
		232		150.800
PHASE 3. DEVELOPEMENT INFORMATIQUE DE L'APPLICATION				
- Mise en place IT de l'environnement général				
	jour	2	650	1.300
- Mise en place IT de l'environnement CI/CD				
	jour	2	650	1.300
- Mise en place initiale IT de l'architecture				
	jour	3	650	1.950
- Développement IT des Lots				
Développement Lot A (UI/UX)	jour	17	650	11.050
Développement Lot A' (GeoServer - UI/UX Map & Tools)	jour	20	650	13.000
Développement Lot B (DB)	jour	10	650	6.500
Développement Lot C (LP Solver)	jour	40	650	26.000
Développement Lot D (Reporting)	jour	25	650	16.250
Développement Lot E (Import/Export)	jour	25	650	16.250
Développement Lot F (External data Integration)	jour	25	650	16.250
Développement Lot G (Offline mode) Optionnel	jour	25	650	16.250
- Accompagnement métier pour le développement informatique				
Environnement général	jour	1	650	650
Environnement CI/CD	jour	1	650	650
Architecture	jour	1	650	650
Lots	jour	15	650	9.750
- Réalisation de séances de test métier sur version Alpha				
	jour	10	650	6.500
- Préparation du support de formation illustré sur la planification des pistes forestières				
Rédaction du contenu du support	jour	3	650	1.950
Préparation des illustrations	jour	5	650	3.250
- Echanges, ajustement et validation avec le PPECF				
		32		20.800
PHASE 4. DEPLOIEMENT ET PROMOTION DE L'APPLICATION				
- Déploiement IT de la version Béta				
	jour	5	650	3.250
- Promotion de l'application				
Promotion et séances de travail auprès des futurs utilisateurs (entreprises)	jour	5	650	3.250
Rédaction du Guide d'utilisation	jour	5	650	3.250
Préparation de supports de promotion et de communication	jour	5	650	3.250
- Résolution des bugs IT de la version Béta				
	jour	10	650	6.500
- Echanges, ajustement et validation avec le PPECF				
	jour	2	650	1.300
		136		88.400
PHASE 5 : FORMATION A LA PLANIFICATION ET LA CONSTRUCTION DE PISTES FORESTIERES				
- Dispense des formations				
Cameroun	jour	3	650	1.950
Gabon	jour	3	650	1.950
Congo	jour	3	650	1.950
- Production des vidéos explicatives sur les méthodes de planification et construction des pistes forestières				
Méthode de planification des pistes forestières (5 min)	jour	25,0	650	16.250
Gestion d'une brigade routière et la planification des opérations de construction et d'entretien du réseau routier (5 min)	jour	25,0	650	16.250



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

	Unité	Nb.	Coût unitaire (€)	Coût total (€)
Méthodes EFIR de construction de routes forestières (5 min)	jour	25,0	650	16.250
Méthodes EFIR d'ouverture de pistes de débardage (5 min)	jour	25,0	650	16.250
Méthodes EFIR de construction d'ouvrages d'art (5 min)	jour	25,0	650	16.250
Echanges, ajustement et validation avec le PPECF	jour	2,0	650	1.300
Gestion du Projet (administrative et financière, cofinancement, reporting)	jour	48	650	31.200
TOTAL PROJET		617		399.750,0

6.2.2 COFINANCEMENT PROPOSE PAR BFCONSULT ET R&SD TECHNOLOGY

BFConsult et R&SD Technology proposent un cofinancement à hauteur 26% du montant du développement informatique ce qui correspond à un cofinancement global de 10% du montant total de l'intervention, soit 40 000 €. En contrepartie, BFConsult et R&SD Technology souhaite disposer des droits d'exploitation et d'utilisation des livrables de l'intervention (le code source du logiciel) pour leur permettre de continuer le développement ultérieur de l'application dans des versions plus performantes, à travers des modalités commerciales avec les utilisateurs (entreprises) du logiciel.

Le montant à charge du PPECF serait alors de **359 750 €**.

6.2.3 AUTRES COFINANCEMENTS ENVISAGEABLES

- Le Projet FORET / Union Européenne en RDC dont R&SD Technology est maître d'ouvrage manifeste son intérêt pour apporter une contribution financière à cette intervention ;
- Le FSC Bassin du Congo, dans le cadre du développement d'outils destinés aux entreprises forestières en vue du processus de certification gestion durable pourrait manifester son intérêt pour apporter dès 2022 une contribution financière à cette intervention.

6.2.4 FRAIS DE MAINTENANCE ET D'HEBERGEMENT (HORS BUDGET DE L'INTERVENTION)

Le budget de l'intervention présenté ci-dessus ne prend pas en compte les frais d'hébergement et de maintenance, qui eux sont dépendants de la technologie choisie et feront l'objet d'un contrat distinct avec BFConsult et R&SD Technology.

Le budget estimé pour l'hébergement et la maintenance pour 12 mois est présenté à titre indicatif dans le Tableau 7 ci-après :



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

Tableau 7 Détails du budget d'assistance post-développement annuel (à titre indicatif)

PHASE 5. ASSISTANCE POST-DEVELOPPEMENT				
-Hébergement				
Cloud (hébergement WEB, Faas, Staas)	jour	12	150	1.800
VM (instance de calcul optimisé)	jour	12	150	1.800
Administrateur (backup, monitoring, gestion administrative)	jour	12	650	7.800
-Support et maintenance				
Support 1er niveau traitement et prise en charge de problèmes non-bloquant (email, téléphone ou video call) selon forfait	forfait	1	15.600	15.600
Support 2ème niveau traitement et prise en charge de problèmes bloquants (accompagnement technique planifié, bug fix, améliorations) en régie à raison de 81,25 € HTVA/heure				
TOTAL /AN				27.000

BFConsult et R&SD garantissent la prise en charge des frais d'hébergement et de maintenance pour une durée de 24 mois à partir de la date de déploiement de l'application.

Une recherche de financement pouvant permettre de prendre en charge les frais de maintenance sera conduite en parallèle de la mise en œuvre du projet et le résultat de ces recherches fera l'objet d'un livrable.

Celle-ci pourrait prendre la forme d'un système de licence payante à tarif régressif en fonction du nombre d'utilisateur, d'une mise à disposition de services additionnels payants ou bien une prise en charge de ces frais par un autre bailleur.

Dans le cas où les deux années d'hébergement et de maintenance sont intégrées au budget initial de l'intervention, le budget total de l'intervention s'élève ainsi à 453 750 € et le cofinancement apporté par BFConsult et R&SD est de 21%.

	Budget Total €	Budget à charge du PPECF €	% à charge du PPECF	Budget à charge de BFConsult et R&SD €	% à charge de BFConsult et R&SD
Phase 1 à 4	399 750	359 750	90%	40 000	10%
Phase 5	54 000	0	0	54 000	100%
TOTAL	453 750	359 750	79%	94 000	21%



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

APPENDICE 1

Résumé public sur le partage de production au Congo



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

APPENDICE 2

Exemple de projet ayant utilisé la programmation linéaire mené par l'un des experts qui interviendra sur le projet



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

APPENDICE 3

Présentation des partenaires



Réduction des émissions carbone au travers du développement d'une application SIG d'aide à la décision et de gestion des contraintes liées à la planification des réseaux de pistes forestières (routes, ouvrages, parcs et pistes de débardage)

APPENDICE 4

CV des experts