



## Mise en valeur des données LiDAR - Canton du Valais

J.M. Monnet, E. Mermin, S. Dupire

### ► To cite this version:

J.M. Monnet, E. Mermin, S. Dupire. Mise en valeur des données LiDAR - Canton du Valais. irstea. 2016, pp.27. hal-02604282

**HAL Id: hal-02604282**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02604282>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# MISE EN VALEUR DES DONNÉES LiDAR

## Canton du Valais

**Rapport final**  
20 mai 2016



Rédaction : Jean-Matthieu MONNET

Avec les contributions de :

Éric MERMIN, Sylvain DUPIRE

contact : [jean-matthieu.monnet@irstea.fr](mailto:jean-matthieu.monnet@irstea.fr) - +33 (0)4 76 76 28 06

Iristea centre de Grenoble, UR Écosystèmes Montagnards





# Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Cartographie de la ressource forestière.....</b>	<b>2</b>
2.1. Rappels théoriques.....	2
2.2. Zone d'étude.....	2
2.2.1. Localisation.....	2
2.2.2. Surface boisée.....	2
2.2.3. Placettes de l'Inventaire Forestier National.....	2
2.2.4. Données LiDAR.....	4
2.2.5. Données topographiques.....	5
2.3. Modélisation.....	6
2.3.1. Données de calibration des modèles.....	6
2.3.2. Méthode de calcul des métriques et modélisation.....	7
2.3.3. Estimation de l'erreur.....	7
2.4. Cartographie des paramètres forestiers.....	9
2.5. Estimation de la précision par entité administrative.....	10
2.5.1. Méthode.....	10
2.5.2. Résultats.....	11
<b>3. Cartographie de l'accessibilité.....</b>	<b>14</b>
3.1. Modélisation automatique de l'accessibilité avec Sylvaccess.....	14
3.1.1. Données spatiales.....	14
3.1.2. Paramètres.....	15
3.2. Cartographie des modes de débardage.....	18
3.2.1. Pour chaque mode « solo ».....	18
3.2.2. Sélection du mode de débardage « combiné ».....	19
3.2.3. Résultats pour la surface accessible.....	19
3.2.4. Résultats pour les volumes débardés.....	21
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>23</b>
4.1. Limites de la méthodologie.....	23
4.1.1. Estimation de la ressource.....	23
4.1.2. Mode de débardage.....	24
4.2. Bilan et perspectives.....	24
4.2.1. Cartographie de la ressource.....	24
4.2.2. Cartographie de l'accessibilité.....	25
4.2.3. Mise à jour des données.....	26
<b>Références.....</b>	<b>27</b>
<b>Annexe 1 : Modèles d'estimation Lidar par strate.....</b>	<b>28</b>
<b>Annexe 2 : Volume et surface terrière par triage forestier.....</b>	<b>31</b>
<b>Annexe 3 : Obstacles au débardage.....</b>	<b>37</b>
<b>Annexe 4 : Surface et volume débardables par triage et arrondissement.....</b>	<b>44</b>



# 1. Introduction

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats du mandat 2015.1522 effectué par Irstea pour le compte du Canton du Valais, département des transports, de l'équipement et de l'environnement (décision du 4 décembre 2015).

L'objectif de ce mandat est :

- d'une part de mettre en valeur les données LiDAR fédérales pour effectuer une cartographie de la ressource forestière sur l'ensemble du Valais et d'en tirer des estimations statistiques par unité administrative (trilage forestier, Canton, arrondissement).
- d'autre part de cartographier les modes de débardage avec le modèle automatique Sylvaccess.

Ce travail s'inscrit dans la continuité des analyses effectuées sur six communes du Bas-Valais dans le cadre du projet PlanEter.

Les objectifs initiaux ont été précisés lors de la séance du 8 septembre (cf PV) :

## 1/ cartographie de la ressource bois

Les paramètres cibles sont la surface terrière, le diamètre moyen, la hauteur moyenne, la hauteur maximale, le volume moyen. Les paramètres facultatifs sont la hauteur dominante, et le volume de l'arbre moyen.

La précision des résultats est analysée à trois niveaux : Canton, arrondissement et triage, sur la base des résultats de l'IFN III et des placettes témoins NaiS.

## 2/ Méthode de débardage

Les modes suivants sont modélisés : tracteur forestier, câble-grue mobile, câble-grue conventionnel. L'arbitrage entre les modes se fait dans le même ordre, le mode par défaut étant l'hélicoptère.

## 3/ Coût d'exploitation

L'intensité d'intervention, la proportion de bois laissés sur place et les coûts d'exploitation sont définis par des valeurs fixes associées à chaque mode.

Les résultats seront livrés en fichiers numériques raster pour l'ensemble du Canton, projection LV95 :

- zones accessibles pour chaque mode de débardage (tracteur, câble-grue mobile, câble-grue conventionnel), et choix du mode de débardage ;
- paramètres forestiers modélisés à partir des données IFN.

Ce rapport est organisé en trois parties principales. La première partie présente la méthodologie et les résultats de la cartographie de la ressource. La deuxième partie détaille les paramètres retenus pour la modélisation de l'accessibilité et les résultats correspondants. La dernière partie présente la cartographie des coûts d'exploitation.

## 2. Cartographie de la ressource forestière

### 2.1. *Rappels théoriques*

Se référer au paragraphe 2.1 du rapport final du projet PlanEter « Méthode d'évaluation de la ressource bois-énergie », juin 2015.

[http://www.newfor.net/wp-content/uploads/2015/07/Rapport\\_Cartographie\\_Ressource.pdf](http://www.newfor.net/wp-content/uploads/2015/07/Rapport_Cartographie_Ressource.pdf)

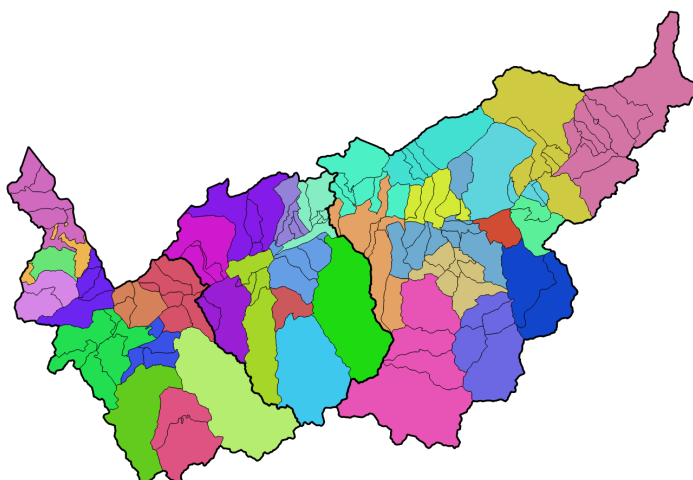
### 2.2. *Zone d'étude*

#### 2.2.1. *Localisation*

La zone d'étude comprend l'ensemble du Canton du Valais soit une superficie d'environ 522450 ha.

Le Canton est divisé en trois arrondissements qui contiennent un total de 36 triages forestiers.

> Les triages forestiers  
du Canton du Valais



#### 2.2.2. *Surface boisée*

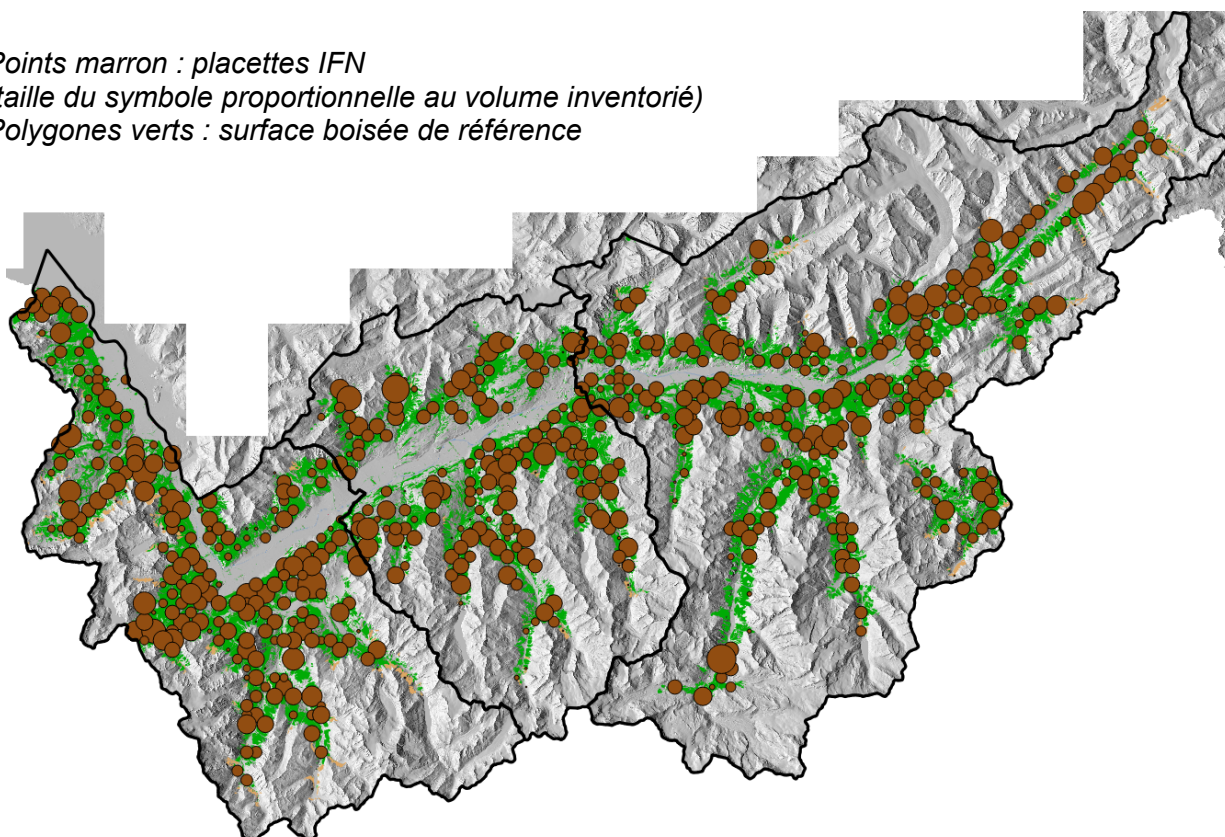
La **surface de référence pour l'étude** est définie par la couche « Surface boisée » des géodonnées du Canton du Valais. La surface boisée représente environ 127400 ha dont la majorité dans la catégorie « Forêt », les autres catégories étant « Rhône », « Routes carrossables » et « Vernes ». Toutes ces catégories ont été conservées pour définir la surface boisée lors de l'étude.

#### 2.2.3. *Placettes de l'Inventaire Forestier National*

L'Inventaire Forestier National (IFN) a pour objectif d'évaluer l'état et la dynamique des forêts suisses. Il se base pour cela sur un réseau de placettes de terrain. Le protocole [1] prévoit l'échantillonnage sur une grille de pas 1,4 km. Les arbres inventoriés sont les arbres de diamètre supérieur à 12 cm à une distance inférieure à 7,98 m du nœud de la grille, ainsi que les arbres de plus de 36 cm sur un rayon de 12,62 m, ce qui représente un disque de 500 m<sup>2</sup>.

À partir des mesures individuelles des arbres, l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a fourni pour chaque placette les paramètres forestiers suivants : hauteur moyenne, hauteur maximale, diamètre moyen, densité de tiges, volume, surface terrière et classe de diamètre dominant. La hauteur dominante et le volume de l'arbre moyen n'étaient pas calculables. Les informations suivantes sont également disponibles pour chaque placette : identifiant, coordonnées et altitude, classe d'altitude, code et intitulé exposition, code et intitulé pente.

Points marron : placettes IFN  
 (taille du symbole proportionnelle au volume inventorié)  
 Polygones verts : surface boisée de référence



Le tableau suivant présente les statistiques des 688 placettes présentes sur le Canton. 47 placettes n'ont pas un couvert boisé significatif (valeurs non calculées), et la hauteur n'est pas fournie pour 229 d'entre elles. 6 placettes ont des volumes négatifs, probablement du fait de l'application de relations allométriques hors de leur champ de validité. On remarque globalement une très forte dispersion, avec des volumes de 0 à 1439 m<sup>3</sup>/ha et des surfaces terrières de 1 à 139 m<sup>2</sup>/ha. Ceci est dû à la fois à la variabilité des forêts considérées et à la faible surface des placettes d'inventaire (500 m<sup>2</sup>).

	<b>Hauteur moyenne</b>	<b>Hauteur maximale</b>	<b>Volume</b>	<b>Densité de tiges</b>	<b>Diamètre moyen</b>	<b>Classe de diamètre dominant</b>	<b>Surface terrière</b>
Minimum	7.0	7.0	-37.4	20	12.0	-1	1.0
1 <sup>er</sup> quartile	16.0	17.0	117.0	230	22.7	2	16.0
Médiane	21.0	23.0	228.2	400	30.2	3	28.0
Moyenne	20.6	22.8	291.6	492	31.9		32.2
3 <sup>e</sup> quartile	25.5	28.0	428.3	690	39.0	4	45.0
Maximum	36.2	40.0	1439.3	3694	73.0	7	139.0
<i>Sans valeur</i>	229	229	47	47	47		47

Le principal avantage des données IFN est qu'elles sont issues d'un protocole d'inventaire bien documenté et couvrant l'ensemble du territoire. Les paramètres du peuplement sont déjà calculés

à l'échelle de la placette, notamment le volume qui bénéficie des relations allométriques élaborées sur l'ensemble des données IFN.

Les inconvénients sont :

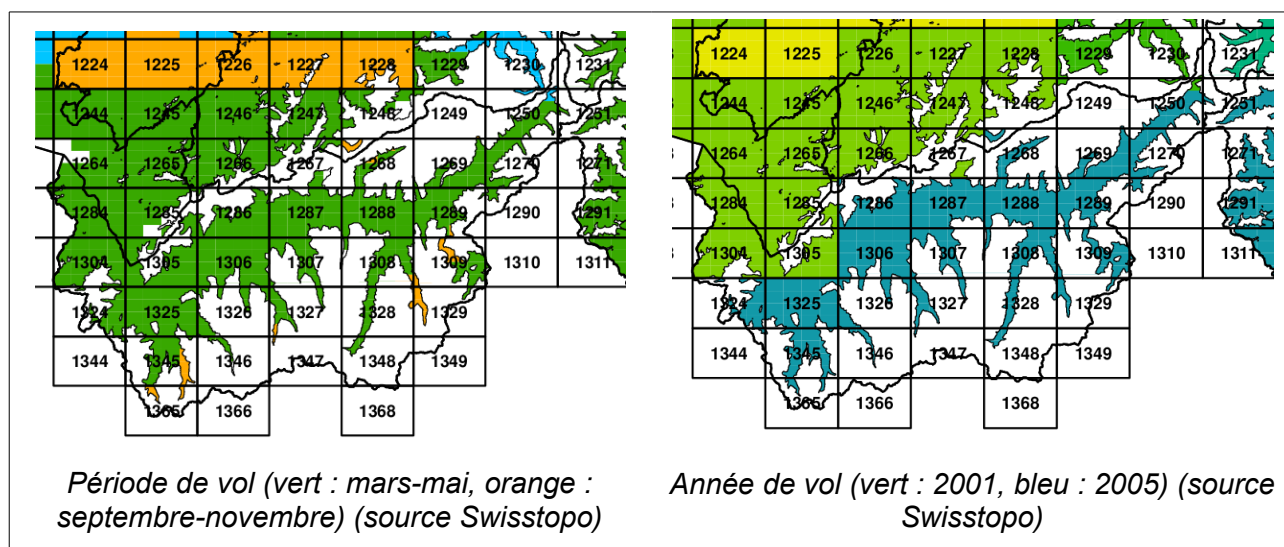
- le faible nombre de placettes pour des surfaces de l'ordre de la centaine de km<sup>2</sup>,
- le décalage temporel pouvant exister entre la date d'inventaire sur le terrain et la date d'acquisition des données de télédétection,
- l'imprécision du géoréférencement des relevés de terrain.

Dans le cadre d'une étude précédente (diaporama du 19 nov. 2012, projet Newfor), l'analyse de la précision de géoréférencement menée par comparaison du modèle de canopée des données LiDAR haute densité et de la cartographie des arbres sur les placettes IFN du Val d'Hérens a montré que pour 44 placettes où la correspondance a pu être identifiée, le décalage moyen est de 4.6 m, avec un écart-type de 3.5 m. Le décalage géographique est une source d'erreur dans les modèles, cependant des études basées sur des simulations ont montré que la dégradation de la qualité des estimations n'intervient qu'au delà d'un décalage de l'ordre de 5 m [2]. D'autre part dans le cas de modèles calibrés sur des données décalées, l'erreur du modèle est plutôt sur-évaluée.

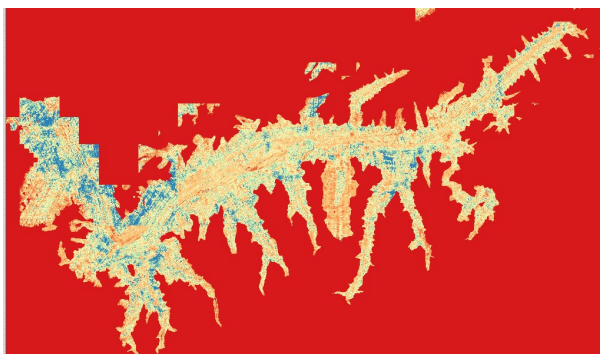
Dans le cadre de cette même étude Newfor (diaporama du 27 nov. 2012), l'analyse de l'influence des changements étant intervenus sur le peuplement entre la date du vol et les relevés de terrain montre que les modèles sont légèrement moins bons lorsque les changements décelables ne sont pas corrigés. Cependant la correction des changements suppose une forte densité de points permettant d'identifier les incohérences entre le modèle de canopée LiDAR et la cartographie des arbres au moment de l'inventaire. Les données LiDAR fédérales ne permettent pas d'effectuer une comparaison avec ce niveau de détail.

#### 2.2.4. Données LiDAR

Une couverture LiDAR de l'ensemble de la Suisse a été réalisée de 2000 à 2008 pour les zones d'altitude inférieure à 2000 m<sup>1</sup>. Les informations sur le vol (date exacte, type de scanner et configuration de vol) ne sont pas accessibles. Les données LiDAR sont disponibles sous la forme d'un nuage de points (X, Y, Z). Les attributs supplémentaires comme l'intensité ou l'ordre de retour sont indisponibles. Il n'y a pas de classification, cependant le modèle numérique de terrain (swissALTI3D) permet d'effectuer la distinction sol/hors-sol sur la base d'un seuil de hauteur par rapport à la surface du sol.



1 [http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/height/dom\\_dtm-av.html](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/height/dom_dtm-av.html)



< Densité d'impulsions LiDAR (échelle de rouge : 0/m<sup>2</sup> à bleu : 2.5/m<sup>2</sup>)

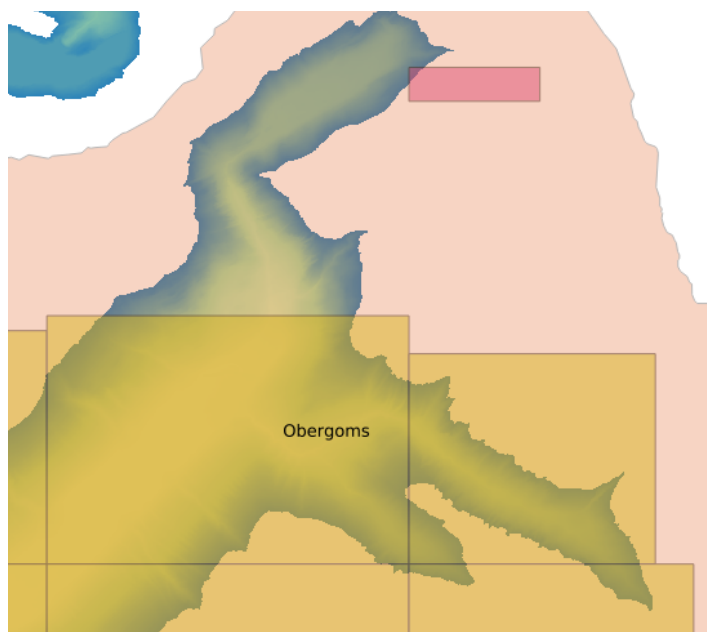
Données LiDAR fédérales disponibles sur le Canton du Valais.

Cependant on ne connaît pas exactement la date des vols qui ont été fusionnés pour composer chaque dalle. La présence simultanée de données acquises dans des conditions de feuillage différentes pourrait se révéler problématique, principalement pour les peuplements feuillus.

Les données ont été fournies au format text ITF, projection LV03. Avec l'utilitaire *gdaltransform* elles ont été reprojctées en LV95 selon la grille « chenyxetrs.gsb ». Elles ont ensuite été converties au format LAS avec l'outil *txt2las* (LAStools), puis redallées avec l'outil *ClipData* (FUSION).

Il s'avère que le nuage LiDAR comprend en fait les points jusqu'à une altitude de 2100 m. Il est possible cependant que le sol d'une placette soit entièrement couvert par des données LiDAR, mais que la végétation soit tronquée, par exemple dans le cas d'une placette d'altitude 2090 m comportant des arbres de plus de 10 m de haut. Selon les dalles, les années de vol sont 2001 ou 2005. La période de vol est le plus souvent le printemps, quelques zones étant survolées en automne ou en hiver.

Certaines données paraissent cependant manquantes sur la commune de Obergoms, dans la mesure où le MNT est d'altitude inférieure à 2000 m mais aucune dalle de données LiDAR n'est disponible.



> Obergoms

rectangles colorés : données LiDAR disponibles

fond en dégradé de couleur : zone d'altitude inférieure à 2000 m.

### 2.2.5. Données topographiques

On dispose sur la zone du modèle altimétrique swissALTI3D, à résolution 2 m, fourni par Swisstopo. Ce modèle est calculé à partir des données LiDAR pour les zones couvertes (altitude inférieure à 2000 m), et par stéréocorrélation pour le reste.

<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/height/swissALTI3D.html>



## 2.3. Modélisation

### 2.3.1. Données de calibration des modèles

Étant donné le protocole d'inventaire basé sur une grille d'échantillonnage systématique, les placettes IFN semblent appropriées à la fois pour calibrer les modèles et pour évaluer leur précision. Les paramètres forestiers considérés sont la surface terrière ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ), la densité de tiges (/ha), le diamètre moyen (cm), la classe de diamètre dominant, la hauteur moyenne (m), la hauteur maximale (m) et le volume sur pied ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), tels que définis par l'IFN (tiges de plus de 12 cm). La variable volume est calculée sur la base de relations allométriques établies à partir de la base de données de l'IFN. Les données IFN sont présentées au paragraphe 2.2.3.

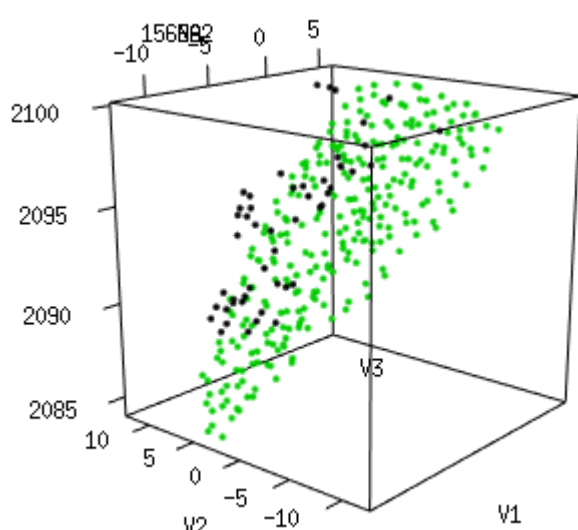
Afin de calibrer des modèles aussi homogènes que possible du point de vue de l'acquisition LiDAR et du type de forêt, tout en assurant l'utilisation d'un nombre suffisant de placettes, il a été décidé de stratifier la surface d'étude selon les critères suivants :

Année et saison de vol	Arrondissement	Altitude	Code strate
2001 ou 2002	Tous		1
2005 - automne	Tous		51
2005 - printemps	Bas-Valais et Valais Central	<1518	5211
		>=1518	5212
	Haut-Valais	<1590	5221
		>=1590	5222

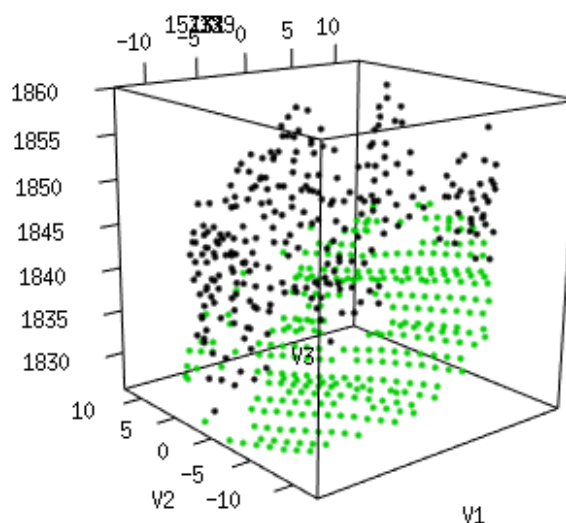
Pour la calibration, les placettes se situant à cheval sur des dalles LiDAR acquises lors d'années ou de saisons différentes ne sont pas utilisées (24).

Les placettes se situant en dehors des données LiDAR (altitude supérieure à 2100 m) ou dont le nuage de points est partiellement incomplet sont également mises de côté (32).

Étant donné les décalages temporel et spatial possibles entre l'inventaire des placettes et l'acquisition LiDAR, une vérification de la concordance entre les données de terrain et l'apparence du nuage de point a été effectuée pour chaque placette. Au cas où le nuage ne semblait manifestement pas concordant avec les données IFN, les placettes sont écartées (15).



*Placette incomplète*



*Placette avec 980  $\text{m}^3/\text{ha}$*

### 2.3.2. Méthode de calcul des métriques et modélisation

Étant donné la nécessité de traiter des jeux de données très volumineux, le logiciel FUSION [3] a été utilisé. Les métriques LiDAR sont calculées d'une part pour l'emprise de chaque placette (outils *ClipData* et *CloudMetrics*), sur la base de leurs coordonnées et de leur rayon maximal (12.62 m) et d'autre part pour chaque pixel résultant d'un découpage de l'ensemble de la zone d'étude selon une grille de pas 20 m, qui sera le canevas final pour la cartographie des différents paramètres forestiers (outil *GridMetrics*). Seuls les échos de hauteur supérieure à 2 m sont considérés, afin de limiter l'influence des strates arbustive et herbacée. Les échos de hauteur supérieure à 50 m ne sont pas non plus pris en compte dans le calcul.

Pour chaque strate d'analyse, et pour chaque variable forestière, on ne garde que les placettes qui présentent une valeur non nulle. La variable est préalablement transformée par transformation Box-Cox de paramètre  $\lambda$  pour normaliser sa distribution. Ensuite les régressions linéaires comportant au maximum quatre métriques  $x_i$  explicatives sont testées. Celle avec le meilleur adj- $R^2$  est retenue comme modèle de prédiction.

$$\frac{(y^\lambda - 1)}{\lambda} = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i x_i + \epsilon_i \quad \text{avec } \epsilon_i \text{ les résidus du modèle et } a_i \text{ les coefficients.}$$

Les métriques suivantes calculées par FUSION sont potentiellement utilisées :

Elev.minimum, Elev.maximum, Elev.mean, Elev.mode, Elev.stddev, Elev.variance, Elev.CV, Elev.IQ, Elev.skewness, Elev.kurtosis, Elev.AAD, Elev.MAD.median, Elev.MAD.mode, Elev.L1, Elev.L2, Elev.L3, Elev.L4, Elev.L.CV, Elev.L.skewness, Elev.L.kurtosis, Elev.P01, Elev.P05, Elev.P10, Elev.P20, Elev.P25, Elev.P30, Elev.P40, Elev.P50, Elev.P60, Elev.P70, Elev.P75, Elev.P80, Elev.P90, Elev.P95, Elev.P99, Canopy.relief.ratio, Elev.quadratic.mean, Elev.cubic.mean, Percentage.all.returns.above.2.00, Percentage.all.returns.above.mean, Percentage.all.returns.above.mode

L'altitude, extraite du MNT swissALTI3D rééchantillonné à 5 m aux coordonnées du centre des placettes, est également utilisée comme variable indépendante.

Une fois les modèles calibrés, les estimations sont obtenues en appliquant aux métriques LiDAR sélectionnées les coefficients du modèle puis en appliquant au résultat la transformation Box-Cox inverse de celle utilisée à l'origine pour transformer la variable forestière. Une correction de biais est également appliquée [4] :

$$\hat{y} = \tilde{y} \left( 1 + \frac{\text{var}(1 - \lambda)}{2(\lambda \tilde{y} + 1)^2} \right) \quad \text{avec } \tilde{y} = (\lambda(a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i x_i) + 1)^{\frac{1}{\lambda}} \quad \text{la transformée inverse de Box-Cox}$$

du résultat de l'estimation par le modèle linéaire et  $\text{var}$  la variance des résidus du modèle.

### 2.3.3. Estimation de l'erreur

En absence de données additionnelles, l'évaluation de la qualité des relations se fait par validation croisée « leave-one-out ». L'erreur est calculée comme la racine de l'erreur quadratique moyenne, exprimée en valeur absolue (EQM) et en pourcentage de la valeur moyenne du paramètre forestier considéré ( $CV_{EQM}$ ).

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad \text{et} \quad CV_{EQM} = \frac{EQM}{\bar{y}} \quad \text{avec} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

où  $\hat{y}_i$  et  $y_i$  sont respectivement les valeurs estimée et observée pour la placette  $i$ , et  $n$  est le nombre total de placettes. Sont calculés également le biais et l'erreur absolue moyenne (EAM) qui est une mesure de l'erreur moins influencée par les écarts extrêmes que l'EQM.

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad \text{et} \quad Biais = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)$$

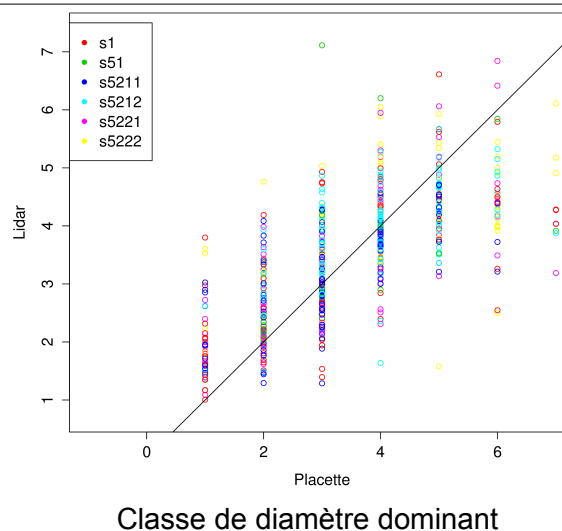
Le tableau ci-dessous présente les statistiques agrégées pour l'ensemble des modèles. Les statistiques par strate sont détaillées en annexe 1.

Variable	Nombre de placettes	Bias	EQM	CV <sub>EQM</sub> (%)	EAM	R <sup>2</sup> (%)
Hauteur moyenne (m)	418	0	3.8	18.3	2.9	62.3
Hauteur maximale (m)	416	0	4.2	18	3.2	66.6
Volume (m <sup>3</sup> /ha)	576	1.2	139	46.7	101	61.4
Densité de tiges (/ha)	582	1	284	57.5	214	32.8
Diamètre moyen (cm)	582	0	9.3	29.3	7	37.0
Classe de diamètre dominant	573	0	1	30	0.8	48.1
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	582	0.1	14.6	45.3	11	50.6

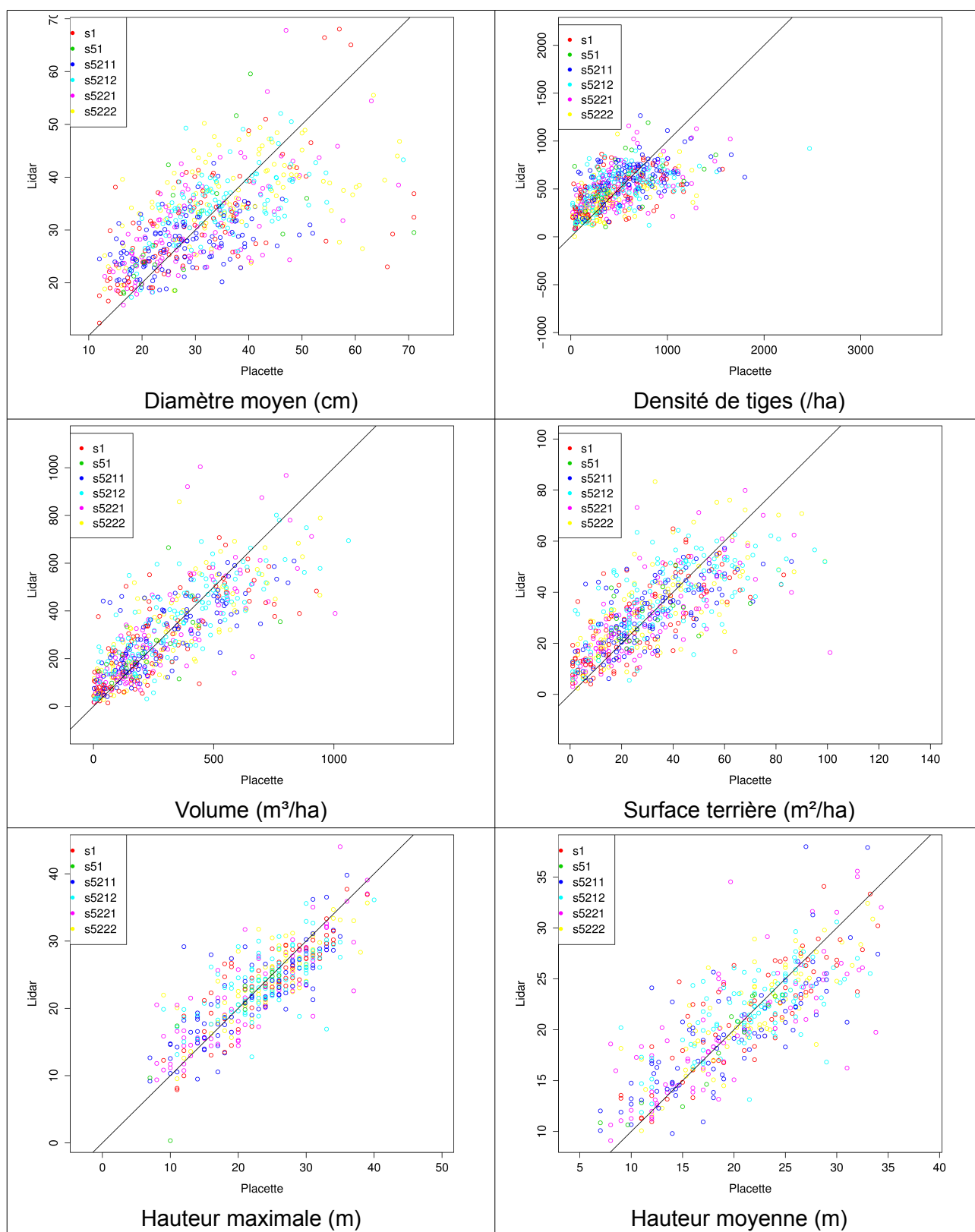
Au final, environ 418 placettes ont été retenues pour la modélisation des variables de hauteur, et 582 pour les autres variables. Pour les variables de hauteur et le volume, les modèles expliquent plus de 61 % de la variabilité, ils permettent donc de retranscrire approximativement les variations locales, même si l'erreur quadratique moyenne reste importante pour le volume (47%). L'erreur est du même ordre de grandeur pour la surface terrière, mais avec un coefficient de détermination inférieur (50,6%). La classe de diamètre dominant a un coefficient de détermination de 48,1 % mais une erreur plus faible. Les modèles de diamètre moyen et densité de tiges sont peu pertinents. Cette analyse globale masque cependant des hétérogénéités quelquefois importantes entre les modèles obtenus pour les différentes strates.

On note sur les graphes ci-dessous que les modèles ont une légère tendance à surestimer les valeurs faibles et à sous-estimer les valeurs élevées, quelque soit le paramètre forestier. Cette tendance pourrait être liée à une « saturation » du signal LiDAR dans les peuplements très capitalisés ou à l'effet du décalage temporel et spatial. Cela pourrait se traduire par un biais lors de l'agrégation par entité administrative des estimations LiDAR, même si les modèles sont non biaisés. En effet, l'échantillon de calibration n'est pas forcément représentatif des peuplements présents dans chaque entité. Certaines méthodes de modélisation permettent de corriger *a priori* cet effet, mais elles se basent sur une stratification additionnelle (selon les entités administratives) qu'il n'était pas possible de combiner avec la stratification liée aux données d'entrée.

> *Graphiques de validation croisée des modèles : en ordonnée valeur prédite par le modèle LiDAR, en abscisse la valeur IFN. La couleur représente la strate de modélisation.*







## 2.4. Cartographie des paramètres forestiers

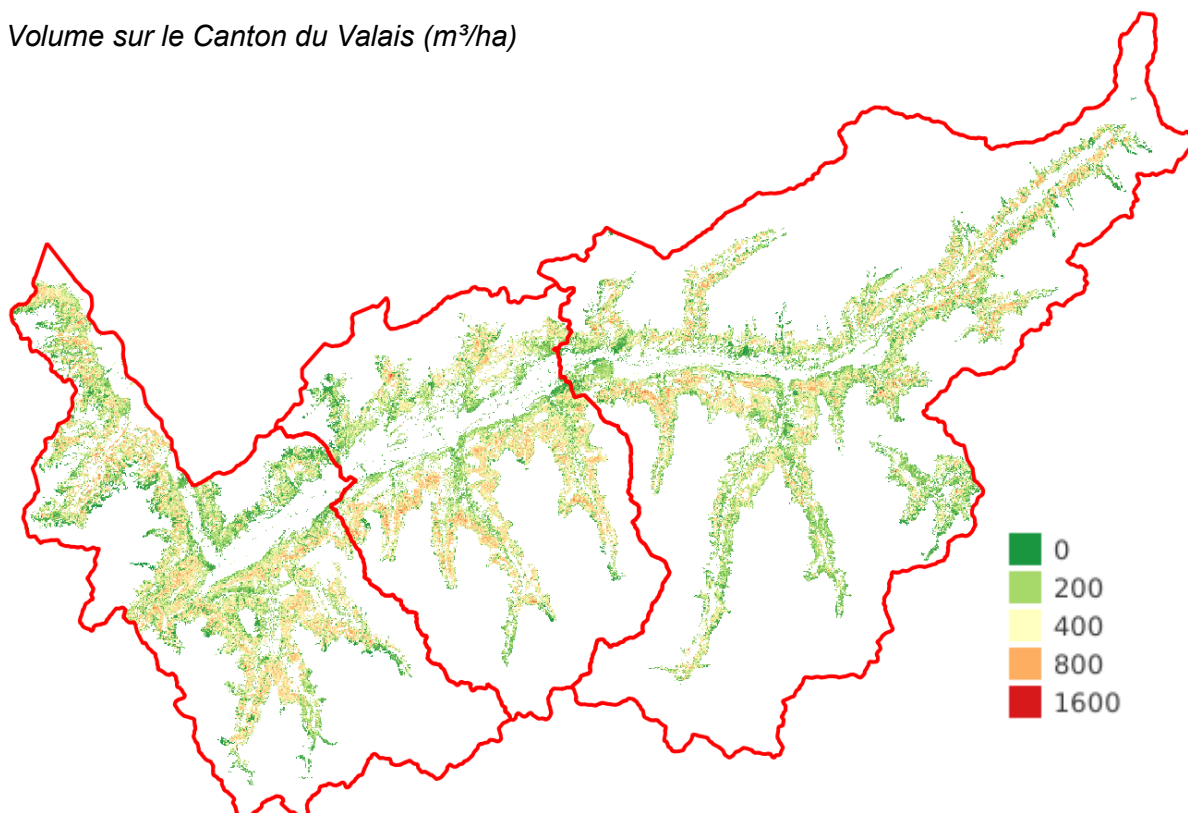
Les métriques présentées au paragraphe précédent sont calculées pour chaque pixel d'un raster de résolution 20 m couvrant le Canton. Chaque pixel est tout d'abord affecté à la strate correspondant à l'acquisition LiDAR, à l'arrondissement et à l'altitude, selon les mêmes critères

que pour les placettes IFN. Ensuite les modèles correspondants sont appliqués pour estimer pour chacun les valeurs des différents paramètres forestiers.

Des valeurs anormalement élevées ou basses peuvent se trouver dans la carte finale. Par exemple certains points LiDAR peuvent avoir une hauteur très importante à cause de leur position en bordure de falaise, sur des lignes à haute tension ou remontées mécaniques, ou tout simplement du fait d'artefacts lors de l'acquisition. Les aberrations de hauteur peuvent se propager dans les métriques LiDAR puis dans les résultats d'estimation par les modèles. Afin d'en minimiser la portée, deux opérations sont réalisées sur la cartographie ;

- seuillage des estimations obtenues pour qu'elles restent dans la gamme :
  - [0-40] pour la hauteur moyenne,
  - [0-45] pour la hauteur maximale,
  - [0-1600] pour le volume,
  - [0-4000] pour la densité de tiges,
  - [0-80] pour le diamètre moyen,
  - [0-8] pour la classe de diamètre dominante,
  - [0-150] pour la surface terrière.
- suppression des valeurs situées hors d'un masque « forêt » qui délimite la zone de validité du modèle, on utilise ici l'emprise des surfaces boisées.

*Volume sur le Canton du Valais ( $m^3/ha$ )*



## ***2.5. Estimation de la précision par entité administrative***

### ***2.5.1. Méthode***

On calcule pour chaque entité administrative la valeur moyenne du volume par hectare et de la surface terrière par hectare, d'une part à partir des données IFN, d'autre part à partir de la cartographie LiDAR.

À partir de  $n$  données IFN contenues dans une zone d'intérêt, on utilise la formule suivante pour calculer l'estimation de la moyenne  $M$  et l'erreur  $E$  correspondant à l'intervalle  $[M-E, M+E]$  ayant 95 % de chances de contenir la vraie valeur de la moyenne.

$$M_{IFN} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{la moyenne des valeurs IFN}$$

$E_{IFN} = t(0.975, n-1) \times \frac{\sigma_y}{\sqrt{n}}$  avec  $t(0.975, n-1)$  le quantile 0.975 d'une distribution de Student à  $n-1$  degrés de liberté et  $\sigma_y$  l'écart-type des  $n$  valeurs IFN.

À partir des  $N$  estimations LiDAR contenues dans cette même zone, on calcule l'estimation par régression simple (SRE) [5] en faisant la moyenne des estimations LiDAR contenues dans chaque entité, en excluant les altitudes supérieures à 2050m et les valeurs hors des surfaces boisées de référence.

$$M_{SRE} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \hat{y}_j$$

Les estimations LiDAR constituent une mesure indirecte mais exhaustive de la zone d'étude, alors que les placettes IFN sont une mesure directe mais non exhaustive. L'incertitude de l'estimation IFN est liée à l'échantillonnage, alors que l'incertitude de l'estimation LiDAR est liée à l'erreur du modèle. Le modèle est calibré globalement et du fait du caractère non représentatif des données qui ont servi à cette calibration, il peut se révéler être biaisé pour tout ou partie du domaine d'étude. On introduit donc une correction des estimations LiDAR par strate qui vise à tenir compte de l'erreur moyenne (biais) constatée dans les placettes IFN contenues dans chaque entité administrative. On obtient l'estimation GREG (Generalized Regression Estimator) [5].

$$M_{GREG} = M_{SRE} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)$$

l'erreur associée est :

$E_{GREG} = t(0.975, n-1) \times \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}}$  avec  $\sigma_r$  l'écart-type des  $n$  résidus de prédiction sur les placettes IFN.

L'estimation du biais peut cependant être mauvaise dans le cas où le nombre de placettes de terrain n'est pas suffisamment important. D'autre part, du fait de leur stratégie d'échantillonnage propre, il n'est pas certain que les placettes IFN soient représentatives des surfaces boisées, ce qui conduit à vouloir corriger un biais avec un échantillon lui-même biaisé.

On calcule les valeurs précédentes pour plusieurs domaines géographiques (trilage, arrondissement, Canton), avec les placettes se trouvant dans les surfaces boisées, et dans la zone couverte par LiDAR, c'est à dire d'altitude inférieure à 2050m et en excluant la zone non disponible sur la commune de Obergoms (coordonnée  $Y \geq 1155000$  en LV95).

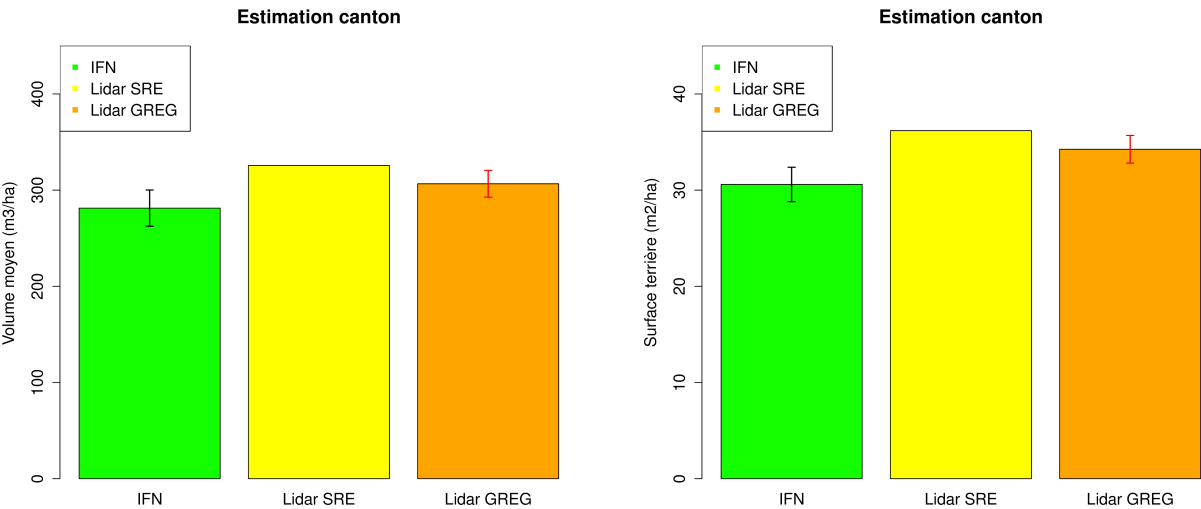
### 2.5.2. Résultats

Les résultats sont présentés pour les surfaces boisées, d'altitude  $< 2050m$  et de coordonnée  $Y < 1155000m$  (surfaces boisées avec données LiDAR valides).

Il est important de souligner que pour l'estimation IFN et l'estimation LiDAR GREG, la précision est proportionnelle à la racine carrée du nombre de placettes. Plus le nombre de placettes se trouvant dans une entité administrative est élevé, plus les résultats sont précis. L'erreur de l'estimation IFN est par ailleurs proportionnelle à la variabilité du paramètre forestier, alors que celle de l'estimation LiDAR GREG est proportionnelle à l'erreur du modèle.

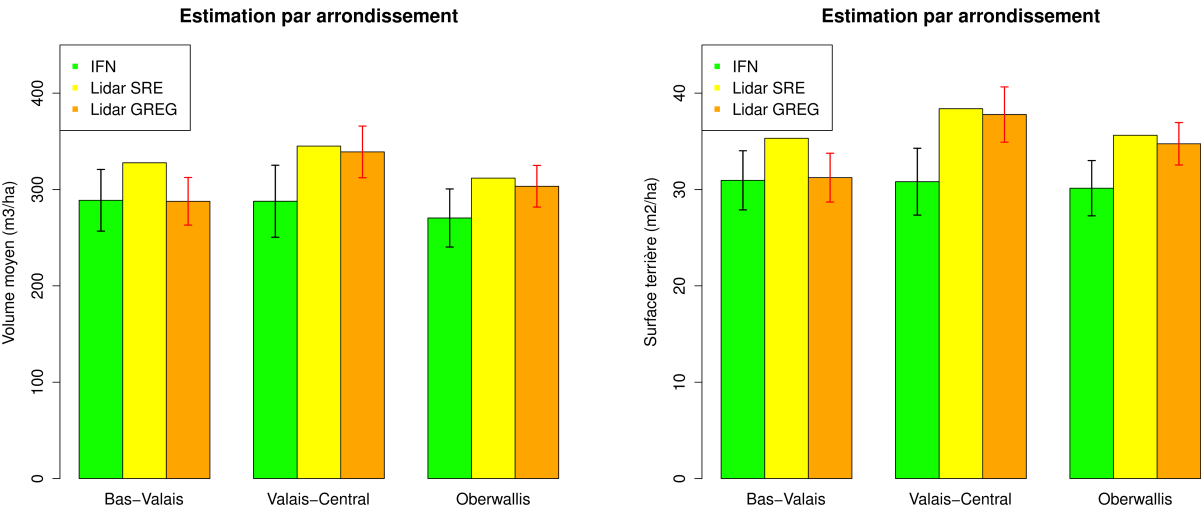
**Pour l'ensemble du Canton**, voici les valeurs calculées avec les 643 placettes IFN correspondant aux critères, et avec les estimations LiDAR sur les 119043 ha :

	IFN	SRE (LiDAR)	GREG (LiDAR)
Volume (m³/ha)	281±19	326	307±14
Surface terrière(m²/ha)	30,6±1,8	36,2	34,2±1,4



**Pour les arrondissements**

Arrondis- sement	Volume (m³/ha)			Surface terrière (m²/ha)			Nombre de placettes	Surface (ha)
	IFN	SRE (LiDAR)	GREG (LiDAR)	IFN	SRE (LiDAR)	GREG (LiDAR)		
Bas- Valais	289±32	328	288±25	31,0±3,1	35,3	31,2±2,5	226	42348
Valais central	288±37	345	339±27	30,8±3,5	38,4	37,8±2,9	163	28904
Oberwallis	270±30	312	303±22	30,1±2,9	35,6	34,7±2,2	254	47790



## Pour les triages

Les résultats pour les triages sont présentés en annexe 2.

## Comparaison des résultats

Les valeurs obtenues sont différentes selon la source de données. Les théories statistiques utilisées associent à ces valeurs un intervalle de confiance qui renseigne sur la précision attendue.

Par exemple, pour la valeur du volume sur le Canton estimée à partir de l'IFN, la valeur la plus probable est 281 m<sup>3</sup>/ha, et la valeur réelle a 95 % de chances d'être comprise entre 262 et 300. Selon les données LiDAR, estimateur GREG, la valeur la plus probable est 307, avec 95 % de chance d'être entre 293 et 321. Comme les intervalles associés à ces deux valeurs se superposent partiellement, il n'apparaissent pas comme statistiquement incompatibles.

L'estimateur SRE n'a pas d'intervalle de confiance associé, il est donc difficile de le comparer aux autres valeurs.

On constate que pour la surface terrière, les intervalles de confiance des estimateurs IFN et GREG ne se chevauchent pas. Cela peut arriver « par hasard » même si c'est très rare (probabilité inférieure à 5%). On peut donc supposer qu'il existe des causes autres expliquant la différence entre les valeurs. Dans notre cas, elles pourraient être de plusieurs sortes.

- Définition de « forêt » différente : les données IFN sont échantillonnées dans une surface de référence qui n'est peut-être pas la même que celle utilisée pour l'analyse LiDAR (surfaces boisées telles que définies par le Canton). Si l'objet d'étude n'est pas rigoureusement le même, les valeurs obtenues pourront être différentes. Certains types de peuplement présents dans la surface boisée de référence pourraient ne pas être échantillonnés par l'IFN.

- Modèles d'estimation LiDAR biaisés : le décalage temporel et spatial des données LiDAR et IFN pourrait engendrer une distribution des erreurs des modèles violant les hypothèses requises pour l'application de la théorie statistique sur laquelle sont basées les estimations. Dans ce cas les valeurs obtenues peuvent être biaisées, ainsi que les intervalles de confiance. L'estimateur LiDAR GREG est cependant conçu pour éviter ce risque.

Dans le cas des triages, le nombre de placettes utilisées pour calculer les estimations est quelquefois très faible, alors même que la variabilité des forêts est très grande (IFN) et que l'erreur des modèles reste importante (LiDAR). Dans ce cas, les estimateurs ont un intervalle de confiance très grand, qui traduit le fait que les estimations sont très imprécises. En effet pour un nombre faible de placettes, chacune a une influence très forte. Les résultats sont donc sensibles aux placettes atypiques. Les estimateurs IFN et GREG sont en général peu fiables pour un nombre de placettes inférieur à 10, même si la précision dépend également de la variabilité de la forêt (pour IFN) et de l'erreur du modèle (pour GREG). Dans ce cas de figure, on pourrait penser que l'estimateur LiDAR SRE est plus précis, bien qu'il soit potentiellement biaisé, à la fois pour la raison mentionnée précédemment, et également au cas où les conditions de l'acquisition LiDAR (saison) soient significativement différentes de l'ensemble de la strate qui a servi à calibrer le modèle. La stratification des modèles devrait éviter ce genre de cas, cependant il n'est pas possible de s'assurer que les données LiDAR utilisées soient véritablement homogènes dans chaque strate. L'hypothèse sur laquelle se base la modélisation LiDAR est qu'il est possible de faire un lien statistique entre ce que voit le scanner et ce que mesure le forestier. Le scanner voit essentiellement la partie haute de la canopée et enregistre des informations très différentes selon qu'il voit un arbre en feuille ou hors feuille. L'hétérogénéité des données LiDAR se traduit potentiellement par une erreur accrue dans les modèles mais également localement dans la cartographie par des zones de sur- ou sous-estimation.

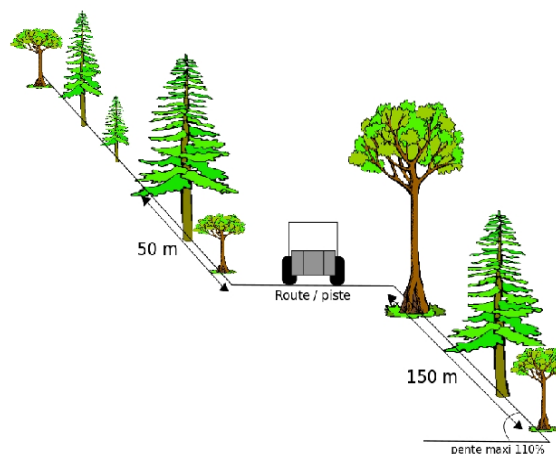
### 3. Cartographie de l'accessibilité

#### 3.1. Modélisation automatique de l'accessibilité avec Sylvaccess

Le modèle Sylvaccess [6], développé au centre Irstea de Grenoble, est prévu pour identifier les surfaces accessibles par tracteur forestier et câble-grue en montagne. Les paramètres de modélisation ont été adaptés aux pratiques constatées.

Les engins d'exploitation suivants ont été testés :

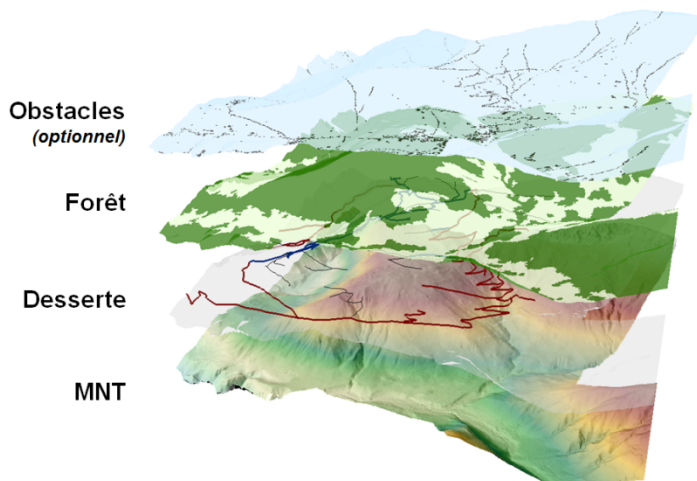
- tracteur forestier (skidder),
- câble-grue mobile,
- câble-grue conventionnel.



##### 3.1.1. Données spatiales

###### Données spatiales obligatoires

Trois couches d'information spatiale sont obligatoires pour que le modèle fonctionne :



- modèle numérique de terrain (MNT),
- une couche de **desserte** détaillant le linéaire accessible aux camions forestiers et aux véhicules spécialisés,
- une couche d'emprise des **forêts**.

Couche	Type	Résolution de la donnée source	Sources
MNT	Raster	2 m, ré-échantillon-né à 5 m	swissALTI3D (swissTopo)
Desserte	Vecteur		Desserte forestière
Forêt	Vecteur		Carte des surfaces boisées

La qualité de la couche desserte est cruciale pour la qualité des résultats. Elle doit être aussi exhaustive que possible, géométriquement correcte et qualifiée de manière appropriée, en distinguant les types de linéaire suivant :

- pistes forestières pour le tracteur : il peut les utiliser pour treuiller les bois, pour entrer dans les peuplements et pour traîner les bois jusqu'à la route forestière ou au réseau public le plus proche.
- routes forestières : elle permettent d'installer le point de départ ou d'arrivée d'une ligne de câble ; le tracteur peut les utiliser pour entrer dans les peuplements ou treuiller, mais le traînage n'y est pas autorisé ;
- le réseau public : voirie publique accessible aux camions pour rejoindre les lieux de transformation, ce qui permet de vérifier la connectivité du réseau forestier (routes et pistes) avec les points de sortie des bois.

Pour cette étude, après un test mené sur le triage de Visp und Umgebung pour créer ces informations à partir des données issues du Vector25 et de la carte de desserte du Canton, il a été jugé plus pertinent d'utiliser la carte de desserte du Canton uniquement, après vérification par rapport aux données TLM3D. Les données finales ont été fournies par le Canton.

Par ailleurs, il a été jugé non pertinent de traîner les bois sur les pistes forestières. Cette spécificité a été prise en compte par le modèle en considérant, pour le tracteur, les pistes comme des routes forestières.

Les données desserte du Canton utilisées pour la modélisation câble-grue et tracteur sont donc :

Catégorie de desserte Sylvaccess	Tracteur	Câble-grue
Piste forestière	-	-
Route forestière	Piste à véhicule spécialisé Route à camion	Route à camion
Réseau public	-	-

### Données spatiales facultatives

Pour une modélisation plus réaliste, *Sylvaccess* offre la possibilité de prendre en compte des couches d'obstacles afin d'exclure un mode de débardage. Les obstacles peuvent être de deux types :

- Total : mode de débardage à proscrire totalement ;
- Partiel : seulement pour le tracteur forestier : le tracteur ne peut circuler physiquement sur la zone mais l'opérateur peut utiliser son treuil pour tirer les bois jusqu'à l'engin.

Les obstacles pris en compte pour chaque mode de débardage sont listés dans le tableau présenté en annexe 3.

#### 3.1.2. Paramètres

De nombreux paramètres entrent en compte dans la modélisation. Ils sont spécifiques à chaque mode de débardage.

Des exemples de machines opérant sur la zone sont :

- petit câble-grue mobile (machines : Koller K307 ou KMS 12) ; portée maximale de 500m, diamètre du câble porteur : 19mm ;
- grand câble-grue mobile (machines : Koller K607 ou Valentini V850) ; portée maximale de 800m, diamètre du câble porteur : 22mm ;
- câble conventionnel (machine : Wyssen W30) ; portée maximale > 1 500m, diamètre du câble porteur : 24mm.

Afin de simplifier l'analyse ultérieure, on considère pour la modélisation les cas du grand câble-grue mobile et du câble conventionnel, dont les paramètres de modélisation seront détaillés plus loin.

#### Sylvaccess général

Description	Valeur retenue
Résolution des couches rasters utilisées	5 m
Pente maximale pour le bûcheronnage manuel	Pas de limite

Le MNT swissALTI3D est fourni à 2 m mais à cette résolution les temps de calcul seraient trop longs. Par ailleurs, la comparaison de résultats obtenus sur une zone de test avec différentes résolutions montrent que pour le tracteur forestier les résultats sont similaires pour des résolutions jusqu'à 10 m. Pour le câble, le choix de 5 m est un compromis entre le temps de calcul et la qualité du profil topographique servant à la modélisation des lignes.

Toutes les zones sont considérées comme exploitables, quelque soit la pente.

#### Sylvaccess Tracteur

Description	Valeur retenue
Pente maximale pour libre circulation dans peuplement	30 %
Distance maximale de treuillage en amont	30 m
Distance maximale de treuillage en aval	60 m
Pente pour laquelle la distance max. de treuillage amont est atteinte	75 %
Pente pour laquelle la distance max. de treuillage aval est atteinte	20 %
Distance maximale hors forêt et hors desserte	100 m

#### Sylvaccess – Câble-grue

Description		Unité	Mobile	Conventionnel
Propriétés du câble porteur	Longueur maximale du câble porteur	m	800	1 500
	Longueur minimale du câble porteur	m	125	150
	Masse linéique du câble porteur	kg/m	2,6	3,1
	Module de young (élasticité) du câble porteur	kN/mm <sup>2</sup>	100	100
	Diamètre du câble porteur	mm	22	24
	Tension de rupture	kgF	36 000	48 000
Propriétés du câble tracteur	Masse linéique du câble tracteur	kg/m	0,5	0,5
	Capacité de charge maximale du système	kg	2 500	2 500



Propriétés du chariot	Masse du chariot à vide	kg	500	500
	Pente minimale pour que le chariot descende par gravité	%	15	15
	Débardage vers l'amont possible (2 câbles)	-	Oui	Oui
	Débardage vers l'aval possible (3 câbles)	-	Oui	Oui
Paramètres de calcul	Hauteur du mât	m	13	8
	Hauteur des supports intermédiaires	m	10	10
	Hauteur au support terminal	m	10	10
	Hauteur minimale du câble porteur en tout point	m	4	4
	Nombre maximum de supports intermédiaires	-	3	3
	Distance latérale de pêchage des bois	m	30	30
	Coefficient de sécurité	-	3	3
	Angle maximum du câble porteur au niveau des supports intermédiaires	degré	30	30
Paramètres de volume débardé	Taux d'exploitation ( % du volume sur pied)	%	30	30
	Taux de débardage ( % du volume exploité)	%	80	80
	Indice de prélèvement minimum pour qu'une ligne soit retenue (m³ débardé par m linéaire)	m³/m	0,4 (a) 0 (b)	0,4 (a) 0 (b)

Le modèle teste un grand nombre de lignes ce qui permet de définir la surface techniquement accessible avec les deux configurations.

Deux cas de figure sont considérés.

a) Tout d'abord, les lignes ne sont retenues que si l'indice de prélèvement est supérieur à 0,4 m³ par mètre de ligne. Cependant, l'information sur le volume est manquante dans les zones d'altitude supérieure à 2100 m et de coordonnée Y > 1155000 pour cause d'absence de données LiDAR. Dans les zones d'altitude supérieure à 2050 m, le nuage de points est potentiellement tronqué, ce qui engendre une sous-estimation du volume. On considère donc comme zone valide « LiDAR » les zones de surface boisée, d'altitude inférieure ou égale à 2050 m, et de coordonnée Y inférieure à 1155000.

b) D'autres simulations sont effectuées sur l'ensemble de la zone, mais en ne tenant pas compte de l'information sur le volume. Toutes les lignes techniquement réalisables sont retenues pour délimiter la zone accessible.

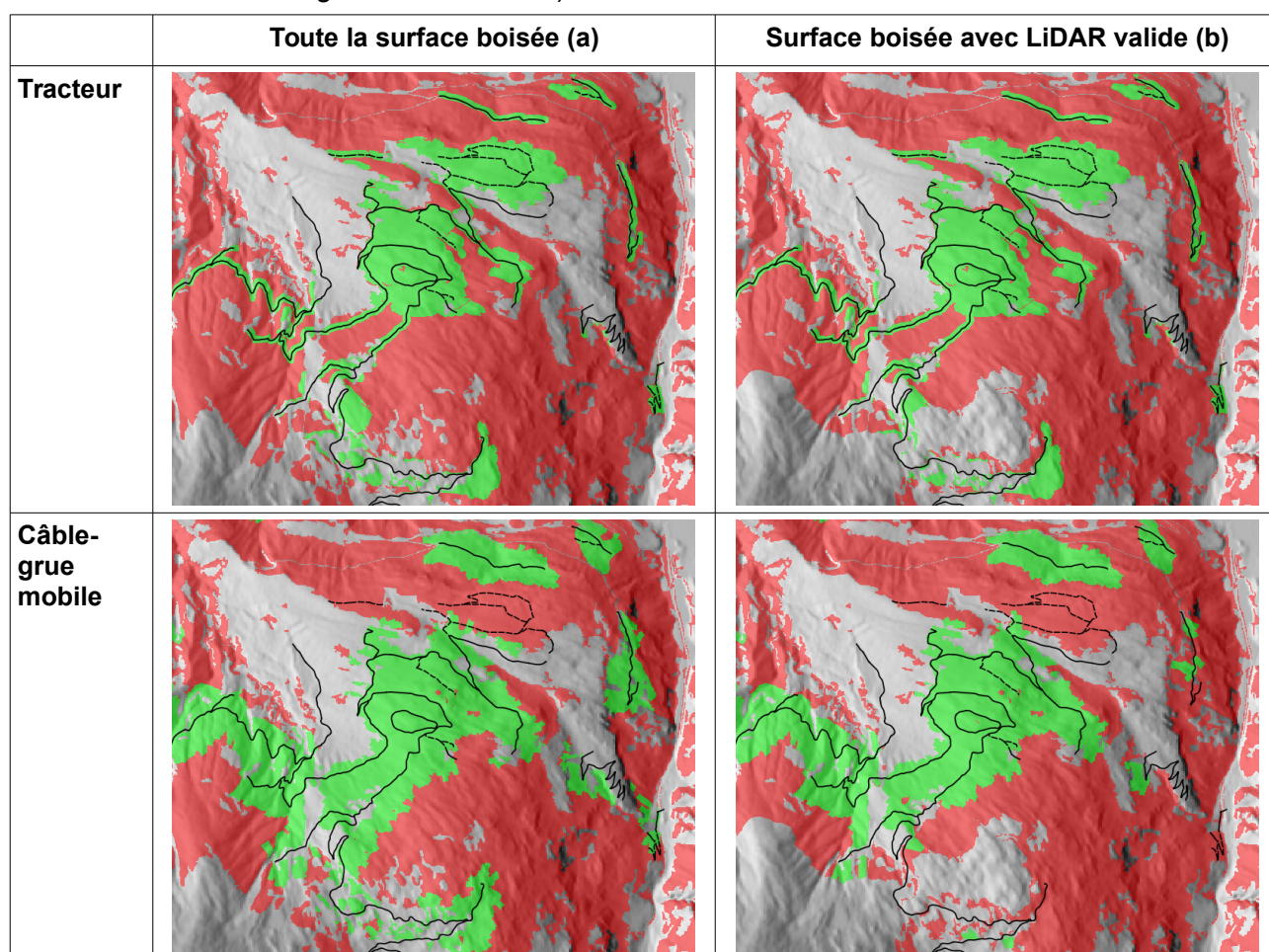
### 3.2. Cartographie des modes de débardage

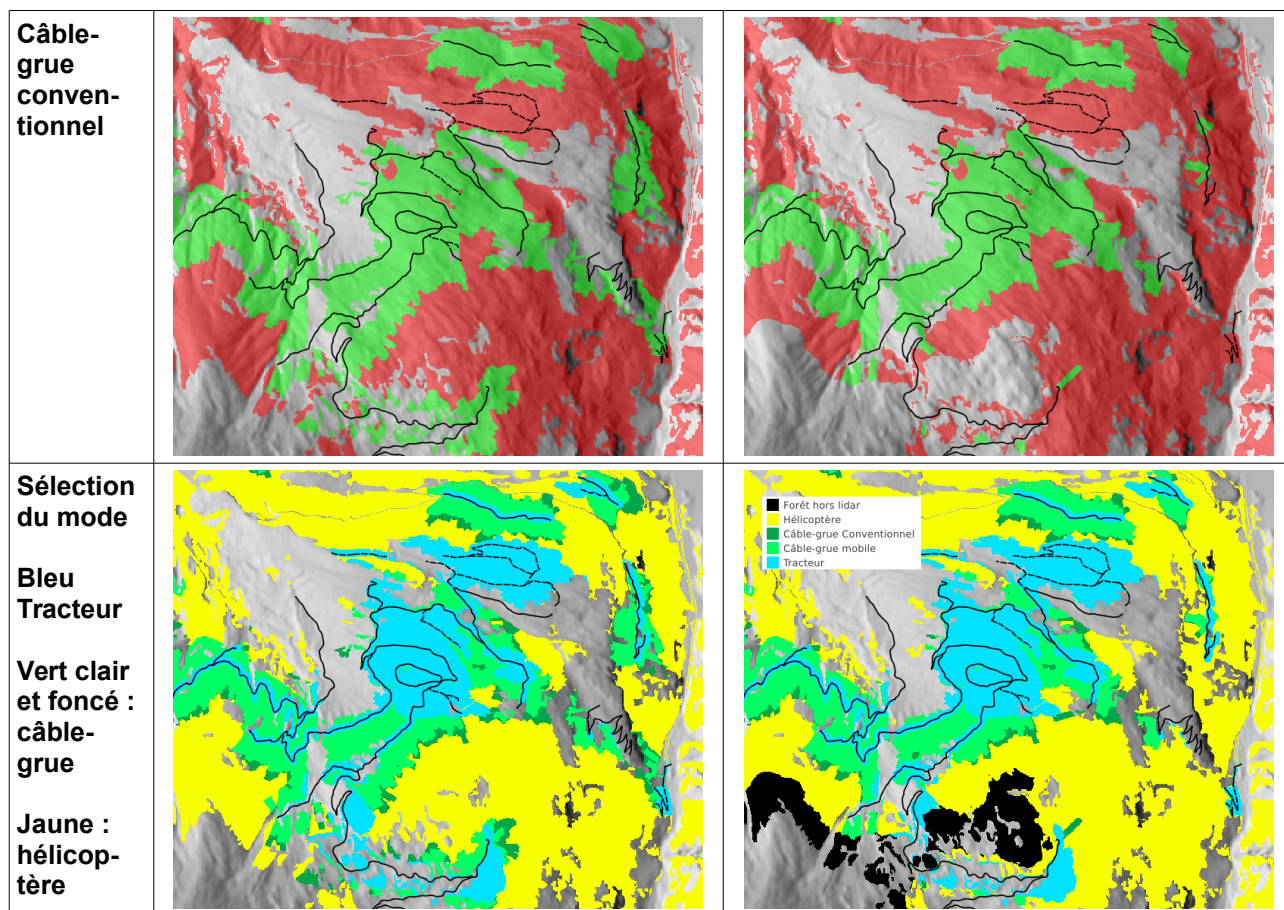
#### 3.2.1. Pour chaque mode « solo »

Pour le tracteur forestier, on utilise la couche de sortie du modèle « Distance\_totale\_foret\_route\_forestiere.tif » qui donne pour chaque pixel de forêt la distance parcourue pour atteindre la route (ou piste dans notre cas), en sommant la distance parcourue par le tracteur et celle parcourue par le treuil. La zone accessible au tracteur est l'ensemble des pixels de forêt pour lesquels cette distance est inférieure à 400 m.

Pour chaque type de câble, on utilise la couche de sortie du modèle « zone accessible » qui combine l'ensemble des pixels de forêt accessibles par une ou plusieurs lignes techniquement réalisables (et satisfaisant le critère d'un indice de prélèvement supérieur à 0,4 m<sup>3</sup>/m, si ce critère est appliqué).

La figure suivante illustre les résultats de la modélisation de l'accessibilité (surface de forêt, en vert : accessible, en rouge : non accessible).





### 3.2.2. Sélection du mode de débardage « combiné »

La sélection du mode de débardage est effectuée selon l'ordre de priorité suivant :

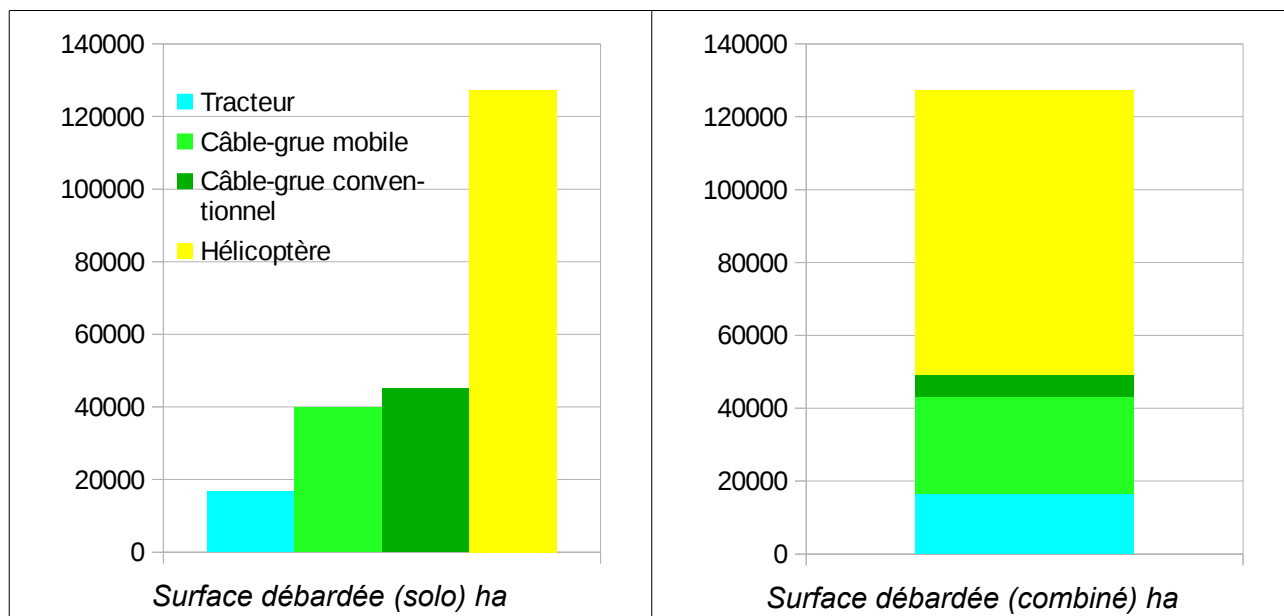
- par tracteur forestier dans les zones qui lui sont accessibles ;
- par câble-grue mobile dans les zones non accessibles au tracteur ;
- par câble-grue conventionnel dans les zones qui lui sont accessibles mais qui ne le sont pas aux deux modes de débardage précédents ;
- par hélicoptère dans les zones de forêt non accessibles aux autres modes.

### 3.2.3. Résultats pour la surface accessible

**Pour la surface boisée totale (critère volume non pris en compte pour le câble-grue)**

Le tableau ci-dessous présente les surfaces accessibles par les différents modes. La surface totale de forêt est de 127404 ha.

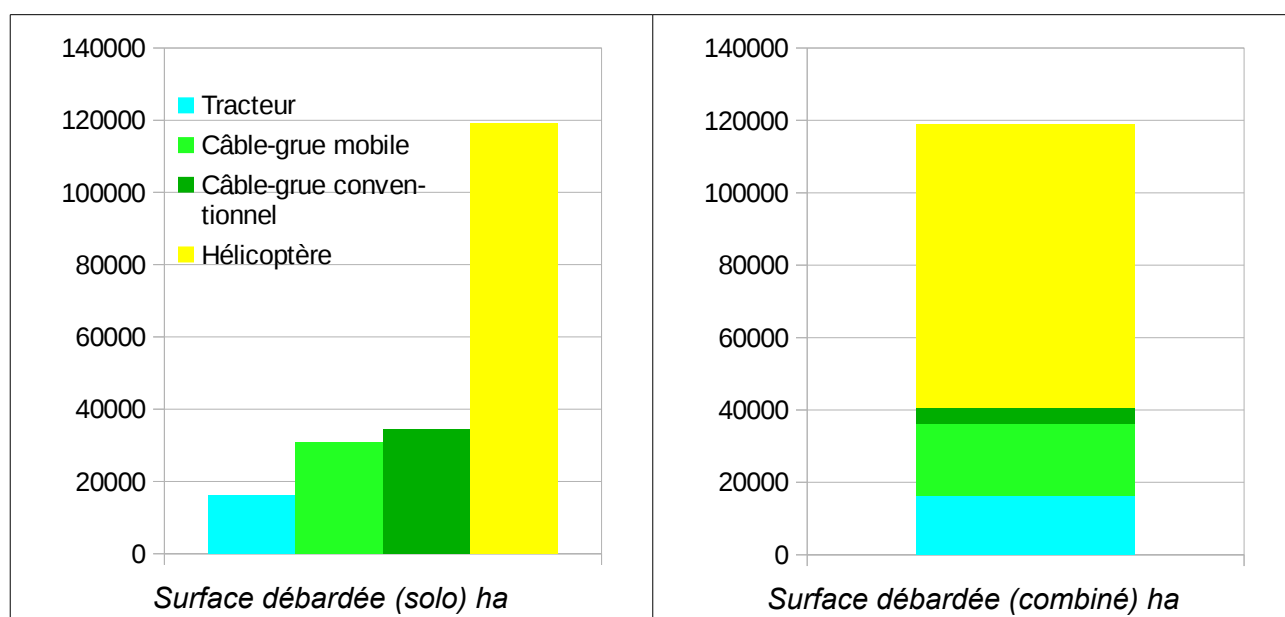
Mode	Surface (seul)		Surface (combiné)		
	ha	%	ha	%	% cumulé
Tracteur	16649	13,1	16649	13,1	13,1
Câble-grue mobile	39889	31,3	26464	20,8	33,8
Câble-grue conventionnel	45053	35,4	6174	4,8	38,7
Hélicoptère	127404	100,0	78117	61,3	100,0



**Pour la surface boisée avec « LiDAR valide » (critère volume pris en compte pour le câble-grue)**

Le tableau suivant présente les mêmes résultats mais en excluant les zones non valides. La surface de forêt couverte par les données LiDAR « valide » est de 119091 ha.

Mode	Surface (solo)		Surface (combiné)		
	ha	%	ha	%	% cumulé
Tracteur	16287	13,7	16287	13,7	13,7
Câble-grue mobile	30801	25,9	20040	16,8	30,5
Câble-grue conventionnel	34584	29,0	4388	3,7	34,2
Hélicoptère	119091	100,0	78377	65,8	100,0

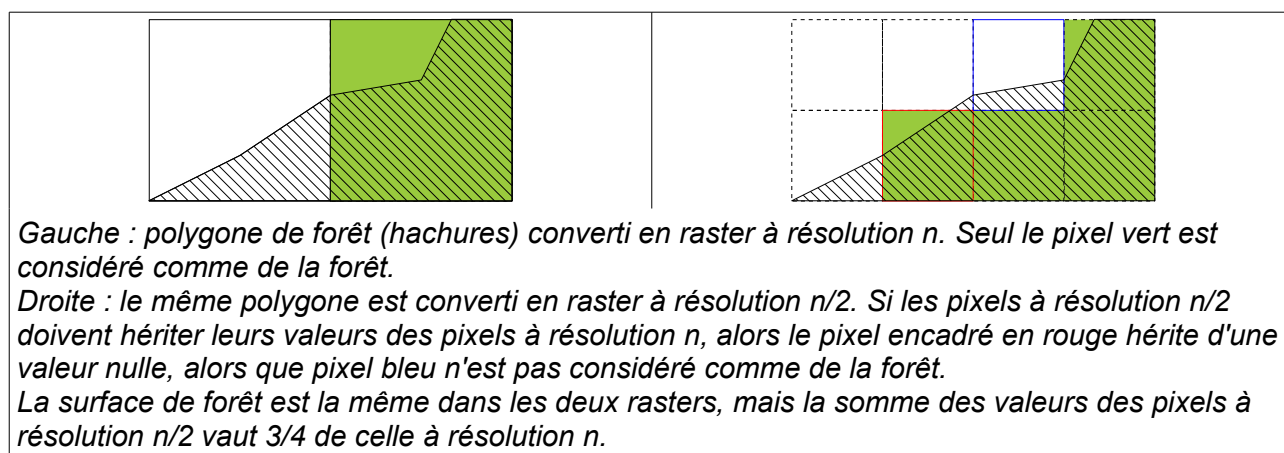


On peut constater une légère différence de surface par rapport à ce qui est mentionné au paragraphe 2.5.2 (119043 ha) du fait d'une conversion du polygone des surfaces boisées à une résolution de 5m au lieu de 20m.

### 3.2.4. Résultats pour les volumes débardés

Le volume total sur pied obtenu en multipliant le volume moyen LiDAR (SRE) par la surface de forêt de la carte à résolution 20 m est de 38,8 millions de m<sup>3</sup> (326 x 119043).

Le volume total sur pied obtenu en sommant les pixels de la carte à résolution 5 m est de 38,6 millions de m<sup>3</sup>. La différence est liée à la conversion du raster à résolution 20 m vers une résolution de 5 m, suivie de l'application du masque des surfaces boisées à résolution 5 m. Certains pixels de bordure comportant un volume non nul sont supprimés, alors que les pixels supplémentaires ont forcément un volume nul.



C'est ce volume de 38,6 millions de m<sup>3</sup> qui sert de référence pour les calculs suivants.

À partir du volume sur pied, on considère que le volume exploité est 30 %. Le coût de bûcheronnage incluant les frais de gestion est fixé à 80 CHF/m<sup>3</sup>. Le volume exploité est donc de 11,6 millions de m<sup>3</sup>. Selon le mode de débardage retenu, un taux de bois laissés sur place et un coût de débardage y sont associés.

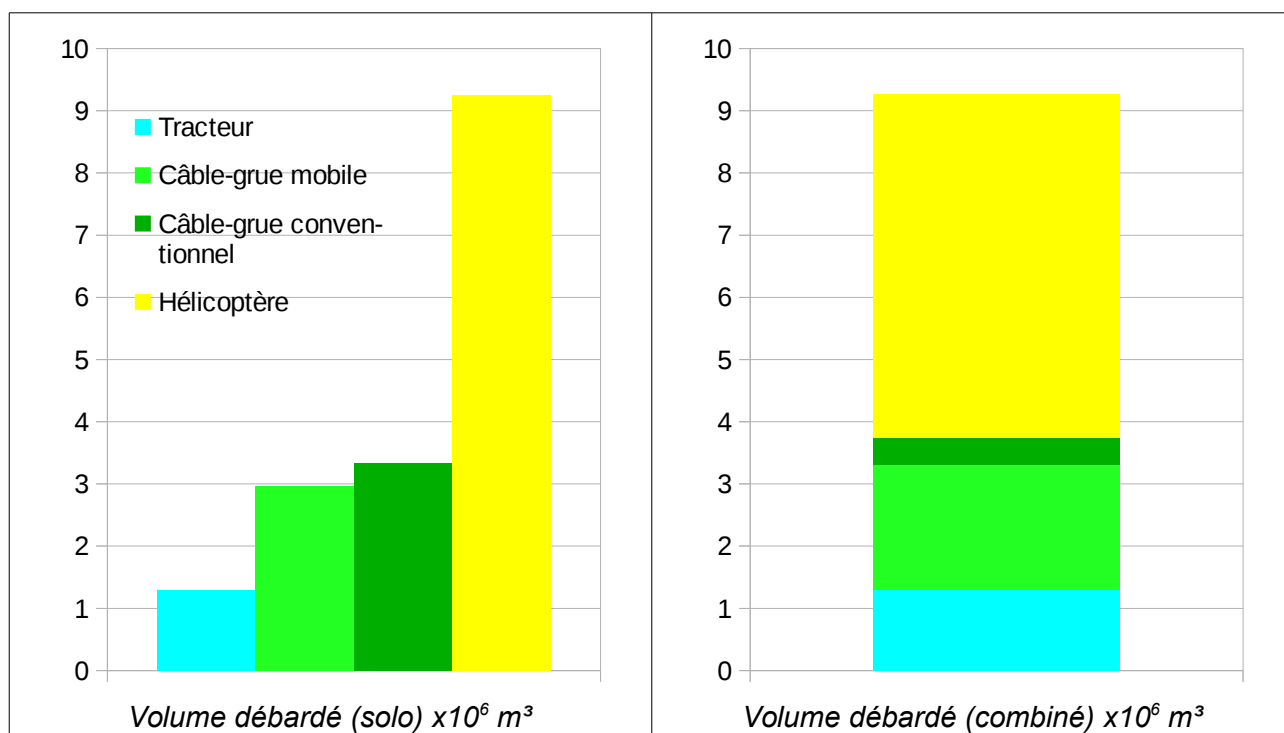
Mode	Taux de laissés sur place (%)	Coût de débardage (CHF/m <sup>3</sup> )
Tracteur	20	50
Câble-grue mobile	20	70
Câble-grue conventionnel	20	90
Hélicoptère	20	135

Le volume débardé est donc de 9,25 millions de m<sup>3</sup>.

Le tableau suivant présente le volume débardé dans les zones de forêt LiDAR « valide ».

Mode	Volume débardé (solo)		Volume débardé (combiné)		
	x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	%	% cumulé
Tracteur	1,29	14,0	1,29	14,0	14,0
Câble-grue mobile	2,96	32,0	2,02	21,8	35,8
Câble-grue conventionnel	3,34	36,1	0,43	4,6	40,4
Hélicoptère	9,25	100,0	5,52	59,6	100,0

En pondérant le volume par le coût de débardage de chaque mode, on obtient un coût moyen de 107 CHF/m<sup>3</sup>.



Les résultats en surface et volume pour les arrondissements et triages sont présentés en annexe 4.

## 4. Conclusion

### 4.1. Limites de la méthodologie

#### 4.1.1. Estimation de la ressource

##### Modélisation

Comme cela a déjà été indiqué, les données n'ont pas été acquises spécifiquement pour notre objectif, aussi leur utilisation pose plusieurs problèmes, notamment :

- imprécision spatiale dans la localisation des références de terrain ;
- décalage temporel entre les données de terrain et les données LiDAR ;
- hétérogénéité des données LiDAR (matériel et date d'acquisition).

Dans la mesure du possible, des stratégies ont été mises en œuvre pour limiter les effets, mais ces sources d'erreur font que les valeurs de précision obtenues sont inférieures à celles mentionnées dans les travaux scientifiques.

Variable	CV <sub>EQM</sub> (%) Cette étude	CV <sub>EQM</sub> (%) Littérature
Hauteur moyenne (m)	18.3	5~10
Hauteur maximale (m)	18	5~10
Volume (m <sup>3</sup> /ha)	46.7	20~30
Densité de tiges (/ha)	57.5	30~40
Diamètre moyen (cm)	29.3	
Classe de diamètre dominant	30	
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	45.3	15~20

##### Cartographie

L'hétérogénéité des données LiDAR pourrait se traduire dans la cartographie par des zones où les valeurs seraient sous- ou sur-estimées. Cependant localement les variations relatives sont bien respectées, notamment pour les variables de hauteur, volume et surface terrière.

##### Estimation par entité administrative

La comparaison des données IFN avec les données issues de LiDAR pose la question de la surface boisée de référence, qui pourrait expliquer les différences à l'échelle du Canton et de l'arrondissement. À l'échelle du **Canton** et de l'**arrondissement**, les estimations LiDAR GREG ont une précision théorique supérieure à celle des estimations obtenues avec les données IFN seules.

A l'échelle du **triage**, ce n'est pas toujours le cas. Par ailleurs, le nombre de placettes est quelquefois très faible, et l'hétérogénéité des données LiDAR pourrait se traduire par des biais qui



ne peuvent pas être corrigés. Afin d'améliorer les estimations, il faudrait compléter le réseau IFN par un réseau de placettes locales.

À l'échelle de la **parcelle**, qui n'a pas été considérée ici, il a été estimé que même avec un inventaire exhaustif des tiges, la valeur obtenue pour la surface terrière a 95 % de chances de se situer dans l'intervalle  $[-15\%, +10\%]$  de la vraie valeur [7]. Lors d'une étude menée sur une petite forêt du Jura [8], il a été démontré que les estimations LiDAR SRE par parcelle étaient aussi précises que les données terrain de référence (inventaire exhaustif). Les estimations GREG l'étaient moins à cause du faible nombre de placettes par parcelle. À l'échelle de la forêt, pour laquelle un nombre suffisant de placettes était disponible, l'estimation GREG était meilleure. Pour cette étude sur le Valais, il en est probablement de même, avec des estimations LiDAR SRE plus précises lorsque le nombre de placettes est faible dans un triage, même si la complexité des données LiDAR et la différence d'échelle doit inciter à la prudence.

#### **4.1.2. Mode de débardage**

Sylvaccess reste un modèle :

- il s'agit d'une représentation simplifiée de la réalité, de nombreux cas particuliers qui composent la vie réelle ne sont pas pris en compte ;
- les résultats obtenus dépendent largement ;
  - des paramètres choisis par l'utilisateur pour la modélisation,
  - des données d'entrée.

Par contre, il permet une analyse relativement rapide et surtout impartiale de grandes surfaces. Cela permet de comparer différentes zones, ou d'évaluer l'impact d'un changement de pratique ou de linéaire de desserte sur l'accessibilité d'une même zone.

Il faut souligner également les limites liées au choix du mode de débardage. L'inconvénient de sélectionner les modes par un ordre de priorité « pixel à pixel » est que les bordures de routes à camion seront généralement affectées au tracteur, même si des lignes sont possibles pour accéder plus haut ou plus bas sur le versant. Une meilleure prise en compte de cette concurrence tracteur / câble-grue nécessiterait de réaliser une procédure d'optimisation qui sélectionne les lignes en fonction de la possibilité par ailleurs que le tracteur débarde autour de la desserte, mais cela nécessite une formalisation plus complexe. Cette remarque vaut également pour la concurrence entre les câble-grues mobile et conventionnel.

### **4.2. Bilan et perspectives**

#### **4.2.1. Cartographie de la ressource**

##### **Retour sur les expériences précédentes**

Si les premiers travaux scientifiques sur l'utilisation de la télédétection LiDAR en gestion forestière remontent à plus d'une dizaine d'années, l'acquisition d'une maturité des méthodes d'analyse et d'une expertise sur l'utilisation de données à l'échelle opérationnelle est plus récente. Par exemple, la Suède, un des pays pionniers en LiDAR forestier, vient tout juste de mettre en place son programme de cartographie utilisant les données de son inventaire forestier [9].

Des travaux de recherche ont montré qu'il n'est pas nécessaire d'avoir des levés LiDAR à haute densité, où l'on peut discerner les arbres, pour extraire des informations forestières pertinentes. Les méthodes statistiques permettent ainsi d'obtenir des estimations par entité administrative, ou des cartes à résolution 20 m, avec des levés à densité inférieure à  $1/m^2$ .

Ceci explique que les données LiDAR fédérales, pourtant disponibles depuis 2005 sur le Canton, n'aient pas été exploitées plus tôt malgré la disponibilité de données IFN sur la même période.



Mieux vaut tard que jamais, même si la pertinence de l'analyse est amoindrie par le fait que les estimations correspondent à l'état de la forêt en 2005.

L'analyse des données acquises sur le Val d'Hérens a contribué à renforcer cette expertise à l'échelle opérationnelle, en permettant d'évaluer l'effet des décalages spatial et temporel lors de l'utilisation de placettes IFN. Les données LiDAR étaient plus denses que celles du levé fédéral, cependant leur analyse posait d'autres problèmes spécifiques :

- le décalage temporel accru entre le vol LiDAR et les relevés de terrain, qui « gonfle » l'erreur et perturbe les hypothèses statistiques sur lesquelles se base la modélisation ;
- l'hétérogénéité des forêts sur une zone avec un fort gradient d'altitude, mais où le nombre de placettes IFN disponibles ne rendait pas une stratification possible ;
- l'hétérogénéité des données LiDAR elles-mêmes, liée à l'utilisation d'un scanner elliptique monté sur un hélicoptère. Le vol par hélicoptère donne plus de flexibilité pour des zones où la topographie est complexe et permet des densités de points plus importantes. Cependant le scanner elliptique engendre une répartition très hétérogène des points LiDAR au sol, et une très forte proportion de points avec des angles d'incidence importants. Cette variabilité des angles d'incidence se répercute dans certains descripteurs du nuage de points, et provoque des artefacts lors de la cartographie. Il avait donc été nécessaire de contraindre plus fortement la modélisation.

### **Vers des analyses complémentaires**

Cette étude montre qu'il est possible, sur la base des données IFN et des données LiDAR fédérales à faible densité :

- d'obtenir des estimations de volume et surface terrière plus précises à l'échelle de l'arrondissement et du Canton ;
- d'obtenir une carte à résolution 20 m respectant la variabilité pour les paramètres de volume, surface terrière et hauteur.

Ces informations pourront être utiles à la fois sur le terrain et pour l'analyse au niveau global.

Au niveau « **stratégique** » du Canton, des études complémentaires pourraient être menées :

- comparaison de la moyenne et de la distribution par arrondissement du volume et de la surface terrière et lien avec les facteurs topographiques, les stations forestières, l'historique des peuplements et les pratiques de gestion ;
- comparaison pour chaque arrondissement du volume et de la surface terrière sur pied avec la récolte, et lien avec les types de peuplements, l'accessibilité, les pratiques de gestion (la donnée sur l'accroissement serait très utile pour cette analyse).

À ce niveau il s'agirait d'essayer de quantifier quels sont les facteurs principaux (naturels ou anthropiques) qui influencent le capital sur pied et la récolte. L'analyse des différences entre les arrondissements permettrait d'identifier des actions d'harmonisation des bonnes pratiques et de mieux prendre en compte les spécificités locales. La précision des estimations à l'échelle du triage ne permet malheureusement pas de faire cette analyse à ce niveau.

Au niveau « **opérationnel** » du triage, les cartes de volume, malgré les erreurs locales, donnent une vision d'ensemble homogène, qui permet de prendre du recul par rapport aux nombreuses informations prises plus ponctuellement sur le terrain par un forestier piéton. Cette vision plus synthétique permettra éventuellement d'éclaircir certaines « zones d'ombre » pour un garde forestier expérimenté, et elle sera très utile pour qu'un nouvel arrivant prenne ses marques plus rapidement. D'autre part, si les opérationnels arrivent à « s'approprier » cette information Lidar, c'est à dire appréhender sa fiabilité et sa correspondance avec leur propre vision du terrain, elle pourra leur être utile pour identifier des zones à plus fort volume et préparer les chantiers.

#### **4.2.2.     *Cartographie de l'accessibilité***

L'analyse « accessibilité » effectuée sur l'ensemble du Canton montre la valeur ajoutée obtenue par la convergence :

- des capacités informatiques actuelles en terme de stockage et de vitesse de calcul,
- de la disponibilité de données géographiques à haute résolution, correctement qualifiées et mises à jour (swissTopo, géocatalogue du Canton),
- d'outils de modélisation disponibles en OpenSource comme Sylvaccess.

Il est en effet possible de simuler des processus complexes de manière réaliste en tenant compte de l'environnement local et sur de grandes zones. Cela ouvre la voie :

- à une analyse comparative « quantifiable » à échelle opérationnelle ;
- à une meilleure compréhension des processus qui structurent le territoire.

En particulier, au niveau « **stratégique** », on peut envisager des études sur :

- la comparaison, entre les différents arrondissements ou triages, de la proportion de forêt accessible pour chaque mode, et le lien avec la topographie, la desserte et la ressource (fragmentation de la forêt, volume sur pied) ;
- la comparaison avec la carte « expert » des modes de débardages : cela permettrait de mieux comprendre les facteurs qui orientent le choix de l'expert (contraintes terrain / ressource / organisationnelles) et d'identifier les limites du modèle Sylvaccess ;
- l'évaluation d'un projet de route à camion / piste à véhicule spécialisé ou autre infrastructure, par une nouvelle utilisation du logiciel et la comparaison des surfaces accessibles avant et après aménagement.

Comme pour la ressource, ces études aideraient à appréhender les facteurs qui structurent l'accessibilité, ce qui est un préalable à l'identification des freins et à la mise en place d'actions adaptées.

Au niveau « **opérationnel** », les propositions du modèle permettront aux gardes d'identifier des zones où des méthodes de débardages alternatives pourraient être testées. En particulier pour le câble, ils pourraient s'appuyer sur les lignes résultant de la sélection automatique.

Par ailleurs, la pertinence de ces outils et des résultats qui en découlent sera grandement améliorée par des échanges entre les modélisateurs, producteurs de données et utilisateurs.

#### **4.2.3.     *Mise à jour des données***

Pour des besoins d'aménagement durable des massifs forestiers, se pose la question de la mise à jour des données d'inventaire et, information importante, de l'estimation de l'accroissement.

Avec un second vol LiDAR, il est possible de faire une analyse similaire, en utilisant de nouvelles données de terrain pour la calibration, si possible synchronisées avec le vol. En comparant les deux inventaires, il sera possible de mesurer et cartographier l'évolution des forêts, en espérant que pour le second vol, il soit possible de mieux maîtriser les paramètres d'acquisition pour limiter autant que possible les sources d'erreur. Cette option est la plus précise et la plus complète pour la mise à jour de l'inventaire, mais a également un coût élevé. Si l'on s'intéresse à l'accroissement en hauteur [10] , il faudra tenir compte lors des comparaisons des biais induits par l'utilisation de capteurs différents lors des deux campagnes.

L'utilisation de nuages de points issus de corrélation par stéréophotogrammétrie se développe rapidement [11]. Le WSL produit actuellement ces données en routine à partir des acquisitions photos de swissTopo. Ces données sont des nuages de points semblables à ceux obtenus par LiDAR, mais où est surtout visible la partie haute de la canopée. Dans la mesure où un modèle de terrain est déjà disponible, elles permettent d'estimer la hauteur de la végétation. Étant donné le rythme régulier des acquisitions de photos, il est théoriquement possible de suivre l'évolution en hauteur des peuplements et d'en déduire la fertilité des sols avec une bonne résolution spatiale. Des travaux de recherche sont en cours pour voir dans quelle mesure des estimations de volume, surface terrière peuvent également être générées à partir de ces données, dont le coût de production est marginal.

## Références

- [1] Keller, M.WSL (Ed.), **2005**. *Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 2004–2007*.
- [2] Monnet, J.-M.; Chirouze, É. and Mermin, É. (**2015**). *Estimation de paramètres forestiers par données LiDAR aéroporté et imagerie satellitaire RapidEye : étude de sensibilité*, Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection 211-212 : 71-80.
- [3] McGaughey, R. J. (**2014**). *FUSION/LDV: Software for LiDAR Data Analysis and Visualization - Fusion version 3.42*.
- [4] Pu Xiaojun and Tiefesdorf, M. (**2015**). *A variance-stabilizing transformation to mitigate biased variogram estimation in heterogeneous surfaces with clustered samples*, Proceedings of the 13th International Conference on GeoComputation.
- [5] Breidenbach, J. and Astrup, R. (**2012**). *Small area estimation of forest attributes in the Norwegian National Forest Inventory*, European Journal of Forest Research 131 : 1255-1267-.
- [6] Dupire, S.; Bourrier, F.; Monnet, J.-M. and Berger, F. (**2015**). *Sylvaccess: un modèle pour cartographier automatiquement l'accessibilité des forêts*, Revue Forestière Française 70 : 111-126.
- [7] Duplat, P. and Perrotte, G., **1981**. *Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers*. Office National des Forêts.
- [8] Monnet, J.-M. and Munoz, A. (**2015**). *Comparaison de méthodes de spatialisation pour l'agrégation par parcelle des estimations de paramètres forestiers par LiDAR aéroporté*, Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection 211-212 : 93-102.
- [9] Nilsson M.; Nordkvist K.; Jonzén J.; Lindgren N.; Axensten P.; Wallerman J.; Egberth M.; Larsson S.; Nilsson L.; Eriksson J. and Olsson, H. (**2015**). *A nationwide forest attribute map of Sweden derived using airborne laser scanning data and field data from the national forest inventory*, Proceedings of Silvilaser 2015: 211-213.
- [10] Markus Hollaus Lothar Eysn, B. M. and Pfeifer, N. (**2015**). *Site index assessment based on multi-temporal ALS data*, Proceedings of Silvilaser 2015: 159-161.
- [11] Vastaranta, M.; Wulder, M. A.; White, J. C.; Pekkarinen, A.; Tuominen, S.; Ginzler, C.; Kankare, V.; Holopainen, M.; Hyypä, J. and Hyypä, H. (**2013**). *Airborne laser scanning and digital stereo imagery measures of forest structure: comparative results and implications to forest mapping and inventory update*, Canadian Journal of Remote Sensing 39 : 382-395.

## **Annexe 1 : Modèles d'estimation Lidar par strate**

Variable	Strate	n	Variables Lidar	adjR2	EQM	CVEQM	EAM	Biais
MEANTARHOEHE	1	64	Elev.variance + Elev.P30 + Canopy.relief.ratio	70	3.6	16	2.9	0
MAXHOEHE	1	64	Elev.L3 + Elev.P99 + Canopy.relief.ratio	76	3.7	16	3.1	0
VOLUMENPROHA	1	95	Elev.P20 + Elev.P99 + Percentage.all.returns.above.mean + altitude	63	145.6	54	106	1.3
STAMMZAHLPROHA	1	98	Elev.variance + Percentage.all.returns.above.mean	38	278.4	62	209.1	1.3
MEANBHD	1	98	Elev.IQ + Elev.L.kurtosis + Canopy.relief.ratio	49	10.9	36	7.4	0.1
DDOMKLA8	1	97	Elev.variance + Elev.MAD.median + Elev.P95 + Percentage.all.returns.above.mode	58	1.1	35	0.8	0
BASALFLPROHA	1	98	Elev.mode + Elev.P99 + Percentage.all.returns.above.mean + altitude	54	14.6	54	11.4	0.1
MEANTARHOEHE	51	14	Elev.L4 + Elev.L.kurtosis	92	1.8	10	1.6	0.1
MAXHOEHE	51	14	Elev.kurtosis + Elev.MAD.mode + Elev.L4	91	5.2	26	3	-1.1
VOLUMENPROHA	51	20	Elev.P25	46	152.3	63	101.6	4.9
STAMMZAHLPROHA	51	20	Elev.minimum + Elev.skewness + Elev.L.CV	37	377.5	62	321.8	18.7
MEANBHD	51	20	Elev.MAD.median + Elev.P60 + Percentage.all.returns.above.2.00	59	13.1	44	8.9	0.3
DDOMKLA8	51	20	Elev.kurtosis + Elev.L.skewness + Elev.P30	67	1.4	42	0.8	0.1
BASALFLPROHA	51	20	Elev.variance + Elev.L.CV	37	13.5	47	9.8	0.4
MEANTARHOEHE	5211	84	Elev.AAD + Elev.L.CV + Canopy.relief.ratio	67	4.1	21	3.2	-0.1
MAXHOEHE	5211	84	Elev.stddev + Elev.L.CV + Canopy.relief.ratio + altitude	70	4.4	20	3.5	-0.1
VOLUMENPROHA	5211	120	Elev.CV + Elev.L2 + Percentage.all.returns.above.2.00 + altitude	60	123.7	44	90.6	-0.2
STAMMZAHLPROHA	5211	121	Elev.kurtosis + Elev.L.skewness + Elev.P50 + Percentage.all.returns.above.2.00	33	293	49	222.7	0.2
MEANBHD	5211	121	Elev.kurtosis + Elev.P60 + Canopy.relief.ratio	27	7.7	28	6.2	0
DDOMKLA8	5211	121	Elev.L4 + Elev.P30 + Canopy.relief.ratio + Percentage.all.returns.above.2.00	50	0.9	28	0.7	0
BASALFLPROHA	5211	121	Elev.L.CV + Elev.P70 + Percentage.all.returns.above.2.00 + altitude	55	11.7	38	8.6	0
MEANTARHOEHE	5212	100	Elev.variance + Elev.P99	48	3.7	17	2.8	0

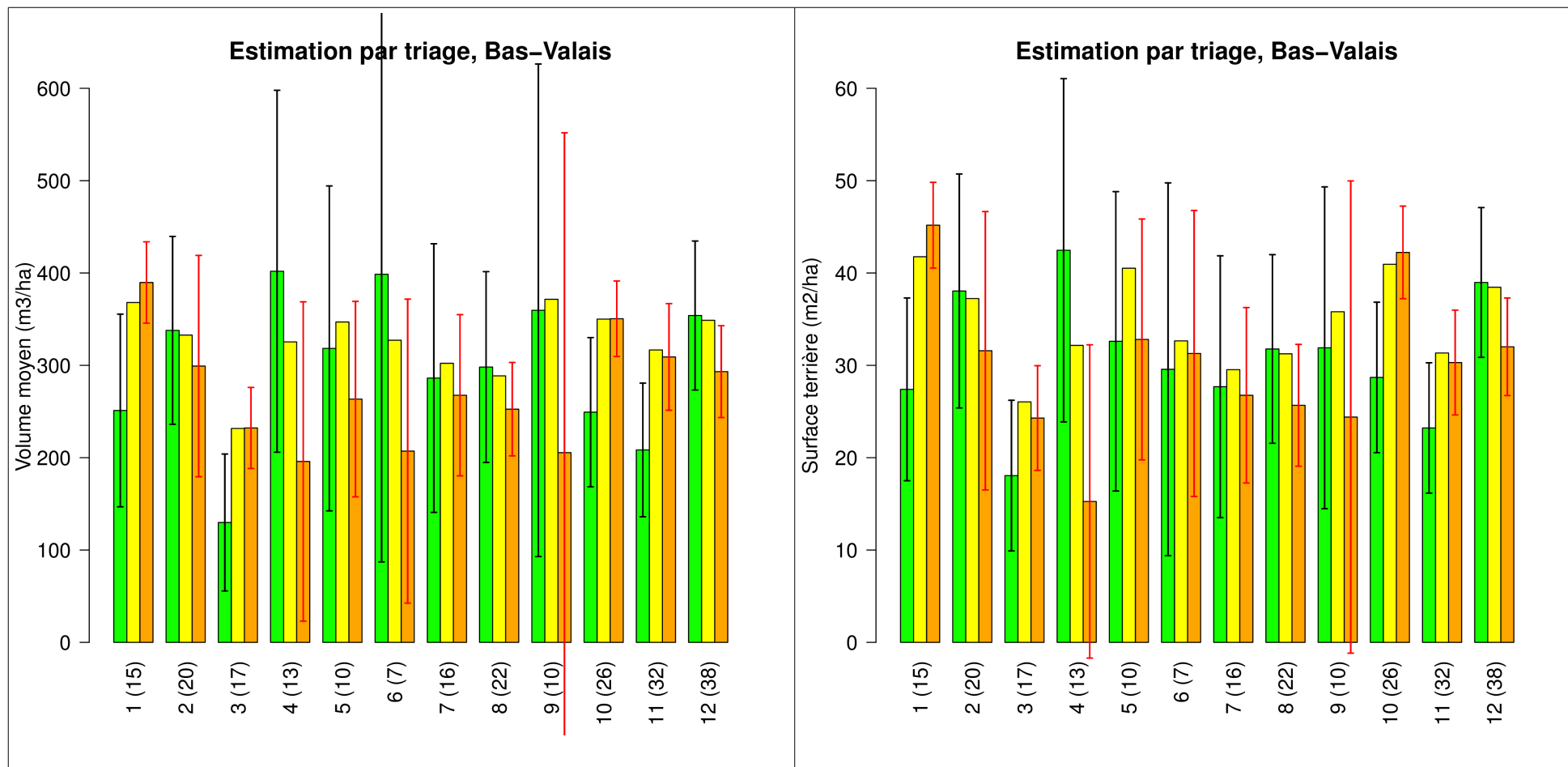
MAXHOEHE	5212	100	Elev.L.skewness + Elev.P50 + Percentage.all.returns.above.mean	52	4.4	18	3.4	0
VOLUMENPROHA	5212	122	Elev.MAD.mode + Elev.L2 + Elev.P01 + Percentage.all.returns.above.mean	69	134.1	37	103.8	0.8
STAMMZAHLPROHA	5212	122	Elev.L.skewness + Elev.P80 + Percentage.all.returns.above.2.00	40	302.9	61	224.2	-0.6
MEANBHD	5212	122	Elev.minimum + Elev.CV + Elev.kurtosis + Elev.P30	44	7.4	21	5.9	0
DDOMKLA8	5212	119	Elev.minimum + Elev.MAD.median + Percentage.all.returns.above.mean	42	0.9	24	0.7	0
BASALFLPROHA	5212	122	Percentage.all.returns.above.2.00	50	16.3	42	12.8	0
MEANTARHOEHE	5221	84	Elev.variance + Elev.P90	65	4.5	23	3.2	0.1
MAXHOEHE	5221	84	Elev.P25 + Elev.P95 + Percentage.all.returns.above.mode + altitude	72	4.4	20	3.2	0
VOLUMENPROHA	5221	114	Elev.P40 + Percentage.all.returns.above.2.00	71	147.3	53	99	2.4
STAMMZAHLPROHA	5221	116	Elev.L4 + Elev.L.kurtosis + Percentage.all.returns.above.mean	39	285	56	223.3	1.7
MEANBHD	5221	116	Elev.L.CV + Elev.P30 + altitude	49	8.5	28	6.8	0
DDOMKLA8	5221	115	Elev.L.CV + Elev.P20 + Percentage.all.returns.above.mean	58	1	30	0.7	0
BASALFLPROHA	5221	116	Elev.skewness + Elev.P40 + Percentage.all.returns.above.2.00	61	14.7	48	10.5	0.1
MEANTARHOEHE	5222	72	Elev.skewness + Elev.P99 + Canopy.relief.ratio	68	3.2	15	2.4	0
MAXHOEHE	5222	72	Elev.kurtosis + Elev.P99	68	4.7	19	3	-0.4
VOLUMENPROHA	5222	105	Elev.CV + Elev.P99 + Percentage.all.returns.above.2.00	68	140.1	48	107.4	1.3
STAMMZAHLPROHA	5222	105	Elev.kurtosis + Elev.MAD.median + Percentage.all.returns.above.2.00	42	227.3	61	163.5	-0.8
MEANBHD	5222	105	Elev.mean + Elev.skewness + altitude	35	11.2	30	8.8	-0.1
DDOMKLA8	5222	101	Elev.maximum + Elev.L.CV + altitude	44	1.2	32	1	0
BASALFLPROHA	5222	105	Elev.mean + Elev.variance + Percentage.all.returns.above.2.00	62	15.4	46	11.8	0.1

## **Annexe 2 : Volume et surface terrière par triage forestier**

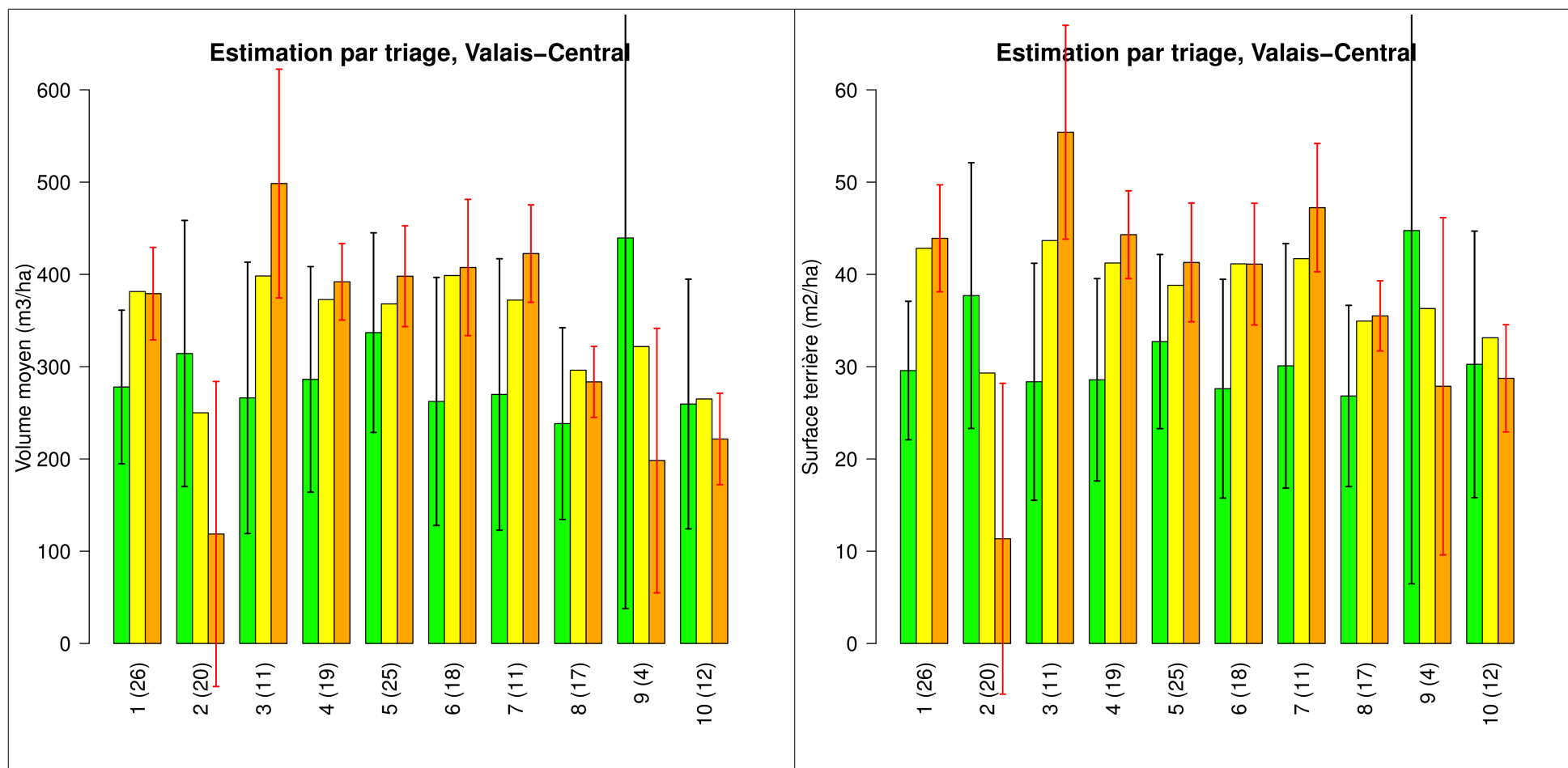
Id	Triage	Volume (m³/ha)			Surface terrière (m²/ha)			n	Surface (ha)
		IFN	SRE (LiDAR)	GREG (LiDAR)	IFN	SRE (LiDAR)	GREG (LiDAR)		
1	Service forestier de la commune de Bagnes	251±104	368	390±44	27.4±9.9	41.8	45.2±4.6	15	3678
2	Triage forestier Catogne / Mt-Chemin	338±102	333	299±120	38±12.7	37.2	31.6±15.1	20	3615
3	Triage forestier de Collonges, Dorénaz, Fully	130±74	232	232±44	18.1±8.2	26	24.3±5.7	17	2499
4	Triage forestier de la Cime de l'Est	402±196	325	196±173	42.5±18.6	32.2	15.3±17	13	2643
5	Triage forestier de Liddes, Bourg-St-Pierre	318±176	347	263±106	32.6±16.2	40.5	32.8±13	10	2106
6	Triage forestier de Monthey	399±311	327	207±165	29.6±20.2	32.6	31.3±15.5	7	1300
7	Triage forestier des Dents du Midi	286±145	302	268±87	27.7±14.2	29.5	26.8±9.5	16	2915
8	Triage forestier des Deux Rives	298±103	289	253±51	31.8±10.2	31.2	25.7±6.6	22	4202
9	Triage forestier de Troistorrents	360±267	372	205±346	31.9±17.4	35.8	24.4±25.6	10	1935
10	Triage forestier d'Orsières	249±81	350	350±41	28.7±8.1	40.9	42.2±5	26	4512
11	Triage forestier du Haut-Lac	208±72	317	309±58	23.2±7.1	31.3	30.3±5.7	32	5560
12	Triage forestier Martigny – Vallée du Trient	354±81	349	293±50	39±8.1	38.5	32±5.3	38	7386
1	Triage forestier d'Anniviers	278±83	381	379±50	29.6±7.5	42.8	43.9±5.8	26	4292
2	Triage forestier de Conthey, Vétroz	314±144	250	119±165	37.7±14.4	29.3	11.3±16.8	20	3281
3	Triage forestier de Saint-Martin	266±147	398	499±124	28.4±12.8	43.7	55.4±11.6	11	1507
4	Triage forestier du Cône de Thyon	286±122	373	392±41	28.6±11	41.2	44.3±4.8	19	3235
5	Triage forestier du Vallon	337±108	368	398±55	32.7±9.4	38.8	41.3±6.4	25	4588



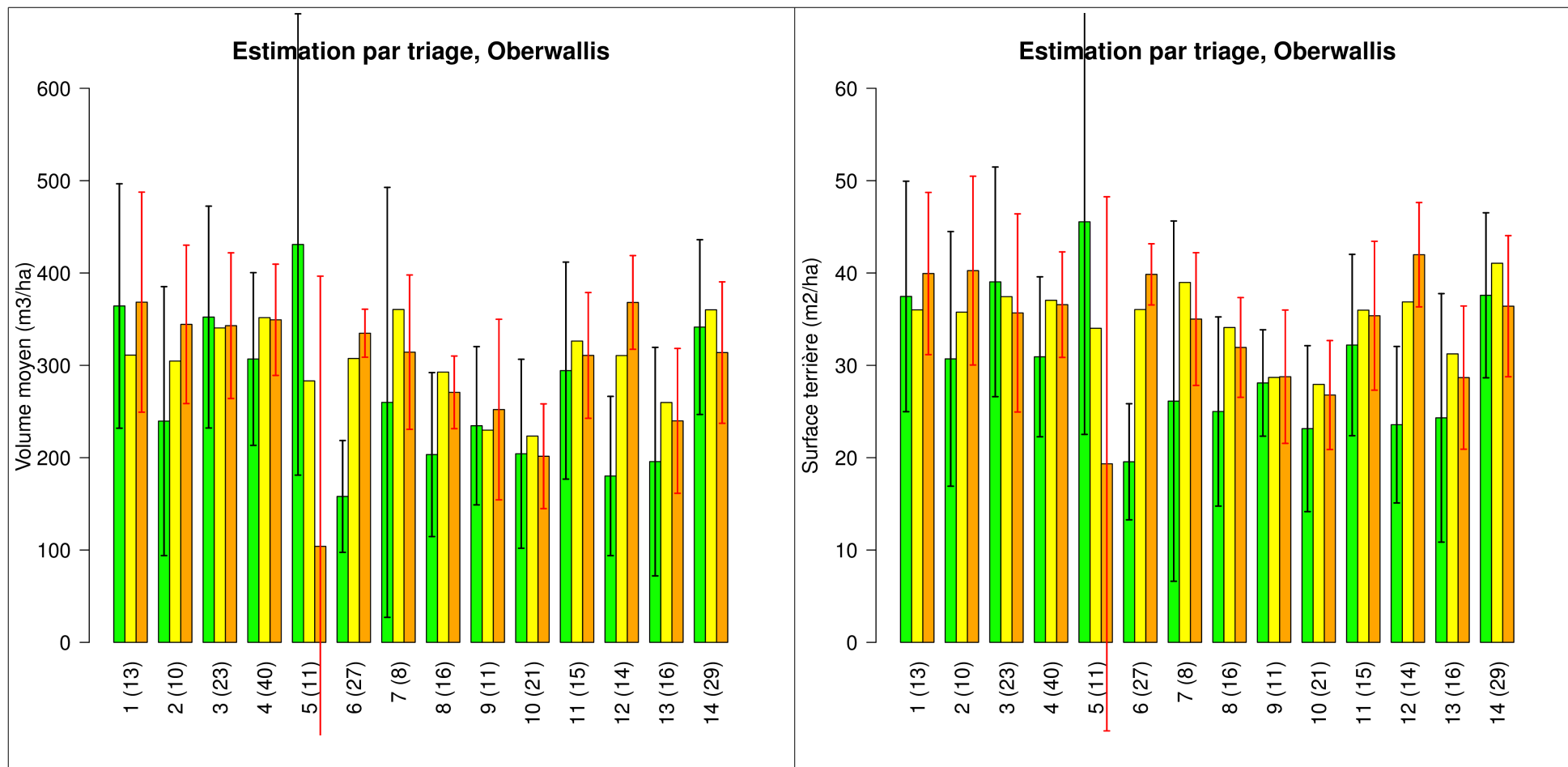
6	Triage forestier Ecoforêt	262±134	399	408±74	27.6±11.9	41.1	41.1±6.6	18	3155
7	Triage forestier Evolène	270±147	372	423±53	30.1±13.2	41.7	47.2±7	11	2175
8	Triage forestier Lienne - Morge	238±104	296	284±38	26.8±9.8	34.9	35.5±3.8	17	2967
9	Triage forestier Louable Contrée	439±402	322	198±143	44.8±38.3	36.3	27.9±18.3	4	1653
10	Triage forestier Sierre – Noble Contrée	260±135	265	222±50	30.2±14.4	33.1	28.7±5.8	12	2051
1	Forstrevier Brigerberg / Ganter	364±132	311	368±119	37.5±12.5	36	39.9±8.8	13	2067
2	Forstrevier Brig-Glis	240±146	305	344±86	30.7±13.8	35.8	40.3±10.2	10	1887
3	Forstrevier Forst Aletsch	352±120	341	343±79	39±12.4	37.4	35.7±10.7	23	3780
4	Forstrevier Forst Goms	307±94	352	349±60	30.9±8.7	37	36.6±5.7	40	7267
5	Forstrevier Inneres Nikolaital	431±250	283	104±293	45.5±23	34	19.3±28.9	11	3609
6	Forstrevier Leuk und Umgebung	158±61	307	335±26	19.6±6.3	36	39.9±3.3	27	4296
7	Forstrevier Lötschental	260±233	360	314±84	26.1±19.5	39	35±7.2	8	1699
8	Forstrevier Massa	203±89	293	271±39	25±10.2	34.1	31.9±5.4	16	2813
9	Forstrevier Saastal	235±86	230	252±98	28.1±5.8	28.7	28.8±7.2	11	1524
10	Forstrevier Simplon-Süd	204±102	223	202±57	23.1±9	27.9	26.8±5.9	21	3873
11	Forstrevier Sonnenberge - Dala	294±117	326	311±68	32.2±9.8	36	35.4±8.1	15	3042
12	Forstrevier Stalden und Umgebung	180±86	311	368±51	23.6±8.5	36.9	42±5.7	14	3621
13	Forstrevier Südrampe Raron	196±124	260	240±78	24.3±13.5	31.2	28.7±7.8	16	2624
14	Forstrevier Visp und Umgebung	341±95	360	314±77	37.6±8.9	41.1	36.4±7.6	29	5687



- IFN
- Lidar SRE
- Lidar GREG



- IFN
- Lidar SRE
- Lidar GREG



### **Annexe 3 : Obstacles au débardage**

Source	Nom de la couche	Champ	Attributs	Attribut_fr	Obstacle Tracteur	Obstacle Câble
Vector25	Autres_Moyens_Transport_2.3.3	OBJECTVAL	LS_Bahn	Téléphérique		OUI
Vector25	Autres_Moyens_Transport_2.3.3	OBJECTVAL	Mat_Bahn	Téléphérique		OUI
Vector25	Autres_Moyens_Transport_2.3.3	OBJECTVAL	Skilift	Télési		OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Autobahn	Autoroute	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Autob_Ri	Autoroute, chaussées séparées	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Autostr	Semi-autoroute	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Ein_Ausf	Entrée /Sortie (autoroute-route)	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	A_Zufahrt	Accès d'autoroute	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	1_Klass	Route de 1re classe	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	2_Klass	Route de 2ème classe	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	3_Klass	Route de 3ème classe		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	4_Klass	Route de 4ème classe		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	5_Klass	Route de 5ème classe		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	6_Klass	Route de 6ème classe		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Q_Klass	Route de quartier		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	HistWeg	Route / chemin historique		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	PzPiste	Piste pour chars d'assaut		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Parkweg	Chemin de parc		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	BrueckLe	Pont isolé		OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	GedBruLe	Pont couvert isolé		OUI

Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	StegLe	Passerelle isolée	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Bundesst	D: Bundesstrasse	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Fahrweg	D: Fahrweg		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Fussweg	D: Fussweg		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Hauptst	D: Hauptstrasse	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Nebenst	D: Nebenstrasse		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Wirtweg	D: Wirtweg		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Acces	F: Accès et sortie (autoroute)	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	AutoRte	F: Autoroute	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	AutrRteA	F: Autre route régulièrement entretenue		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	AutrRteB	F: Autre route irrégulièrement entretenue		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	ChExploi	F: Chemin d'exploitation		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Rte2etr	F: Route à 2 voies étroites	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Rte2larg	F: Route à 2 voies larges	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Rte3voie	F: Route à 3 voies et plus	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Rte2chau	F: Route à 2 chaussées séparées	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	RteEtroi	F: Route étroite		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	Sentier	F: Sentier, layon, ligne de coupe		
Vector25	Reseau_Routier_lignes_2.1.2	OBJECTVAL	ww50	Elément de connexion pour les chemins de randonnée		
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_BaumS	Pépinière		
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Fels	Rocher	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Fluss	Rivière	TOTAL	

Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Gebue	Buisson		
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_GerGeb	Pierrier avec buissons	PARTIEL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_GerGle	Pierrier sur glacier	PARTIEL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Geroel	Pierrier	PARTIEL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_GerWa	Pierrier en forêt	PARTIEL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_GerWaO	Pierrier en forêt clairsemée	PARTIEL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Glet	Glacier	TOTAL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_GsPist	Piste sur herbe		
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_HaPist	Piste sur revêtement dur		
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_KiGrub	Gravière	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_LeGrub	Glaisière	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_ObstAn	Verger	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Reben	Vignes	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_See	Lac	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Siedl	Zone d'habitation	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_StauDa	Digue de retenue	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_StauMa	Barrage	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_SteBru	Carrière	TOTAL	OUI
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_SumGeb	Marais et buissons	TOTAL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Sumpf	Marais	TOTAL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_SumWa	Marais en forêt	TOTAL	
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_SumWaO	Marais en forêt clairsemée	TOTAL	



Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Uebrig	Autre type de sol		
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_Wald	Forêt		
Vector25	Surfaces_Primaires_Surface_2.5.3	OBJECTVAL	Z_WaldOf	Forêt clairsemée		
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Bach	Ruisseau, torrent, petite rivière	TOTAL	
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Bachachs	Cours fictif d'un ruisseau d'un torrent ou d'une petite rivière	TOTAL	
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Bach_U	Cours souterrain ou non représenté sur la carte pixel d'un ruisseau, d'un torrent ou d'une petite rivière		
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Bisse	Canaux d'irrigation situés à flanc de vallée (p. ex. VS)	TOTAL	
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Druckl_1	Conduite forcée simple	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Druckl_2	Conduite forcée multiple	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Drucksto	Galerie forcée		
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Fluss	Rivière importante, fleuve	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Fluss_U	Cours souterrain ou non représenté sur la carte pixel d'une rivière importante ou d'un fleuve.		
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Kanal	Cours d'eau sans direction d'écoulement reconnaissable / univoque	TOTAL	
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Seeachse	Axe de cours d'eau fictif à travers un lac	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	Seeinsel	Contour d'île dans un lac	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_hydrographique_Lignes_2.4.3	OBJECTVAL	See	Ligne de rive du lac	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	Gt_Bahn	Ligne avec desserte ferroviaire marchandise	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	I_Geais	Voies industrielles	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	MS_Bahn	Chemin de fer-musée	TOTAL	OUI

Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	NS_Bahn1	Chemin de fer à voie normale unique	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	NS_Bahn2	Chemin de fer à voie normale multiple	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	SS_Bahn1	Chemin de fer à voie étroite unique	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	SS_Bahn2	Chemin de fer à voie étroite multiple	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	Str_Bahn	Chemin de fer sur route	TOTAL	OUI
Vector25	Reseau_ferroviaire_Lignes	OBJECTVAL	Str_Bhof	Jonction de voies dans l'aire de gare Bundesamt für Landestopografie	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Gebaeude	Bâtiment / Maison isolée	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Innenhof	Cour intérieure	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Gasthof	Auberge isolée	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Huette	Cabane	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Kirche	Eglise	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Kuehlurm	Tour de refroidissement	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Lagertank	Réservoirs (hydrocarbures, gaz)	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Perron	Perron, halle de quais	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Schiessstand	Stand de tir	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Schloss	Château	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Station	Station / Arrêt des transports publics	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_Treibhaus	Serre	TOTAL	OUI
Vector25	Batiment_Surface_2.6.3	OBJECTVAL	Z_WBecken	Bassin (Station d'épuration des eaux, piscine)	TOTAL	OUI
Vector25	Objets_isoles_Lignes_2.9.4	OBJECTVAL	BoeschOK	Talus - limite supérieure	PARTIEL	
Vector25	Objets_isoles_Lignes_2.9.4	OBJECTVAL	BoeschUK	Talus - limite inférieure	PARTIEL	

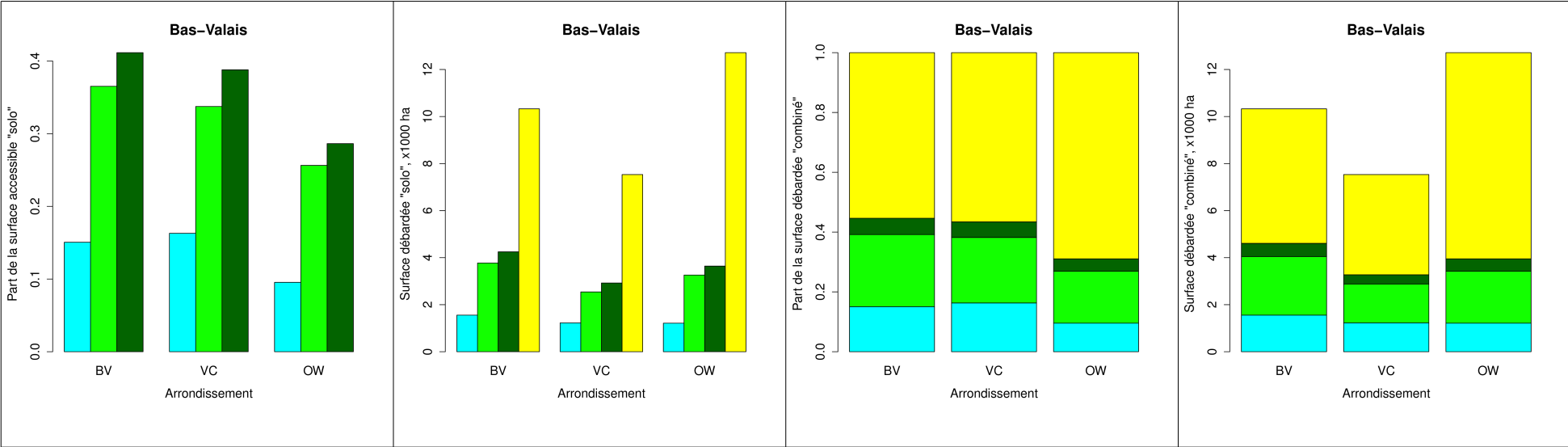
Vector25	Objets_isoles_Lignes_2.9.4	OBJECTVAL	HSP_Ltg	Ligne électrique à haute tension		OUI
Vector25	Objets_isoles_Lignes_2.9.4	OBJECTVAL	Ruine	Ruine	TOTAL	OUI
Vector25	Objets_isoles_Lignes_2.9.4	OBJECTVAL	Sender	Station radio	TOTAL	OUI
Vector25	Objets_isoles_Lignes_2.9.4	OBJECTVAL	StBoeOK	Talus de pierre - limite supérieure	TOTAL	
Vector25	Objets_isoles_Lignes_2.9.4	OBJECTVAL	StBoeUK	Talus de pierre - limite inférieure	TOTAL	
Vector25	surfaces_amenagees_gare_aeroport	OBJECTVAL	Z_BhArea	Aire de gare	TOTAL	OUI
Vector25	surfaces_amenagees_gare_aeroport	OBJECTVAL	Z_FIArea	Aire d'aéroport	TOTAL	OUI
Vector25	surfaces_amenagees_gare_aeroport	OBJECTVAL	Z_FlugBh	Aire de gare d'aéroport	TOTAL	OUI
Canton du Valais	Zones_protection_des_eaux_souterraines	ZONE_TYPE	1		TOTAL	
	Zones_protection_des_eaux_souterraines	ZONE_TYPE	2		PARTIEL	
	Zones_protection_des_eaux_souterraines	ZONE_TYPE	3			
	Desserte_forestiere	TYPE		Piste à jeep	TOTAL	

## **Annexe 4 : Surface et volume débardables par triage et arrondissement**

PAR ARRONDISSEMENT

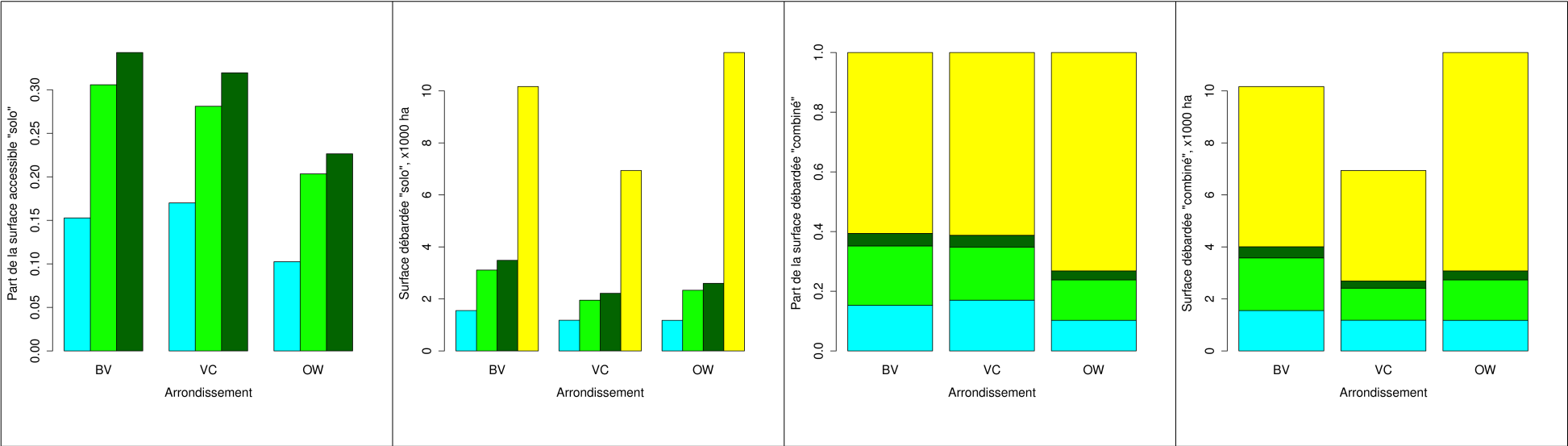
Pour la surface boisée totale, sans prise en compte du critère volume pour le câble-grue : surface accessible

	Surface “solo” en ha (% arrondissement)				Surface “combinée” en ha (% arrondissement)			
Triage	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère
Bas-Valais	6480 (15.1)	15713 (36.5)	17706 (41.1)	43029 (100)	6480 (15.1)	10376 (24.1)	2345 (5.5)	23828 (55.4)
Valais-Central	5114 (16.3)	10591 (33.7)	12175 (38.8)	31387 (100)	5114 (16.3)	6876 (21.9)	1639 (5.2)	17757 (56,6)
Oberwallis	5056 (9.5)	13584 (25.6)	15172 (28.6)	52986 (100)	5056 (9.5)	9211 (17.4)	2189 (4.1)	36531 (68,9)



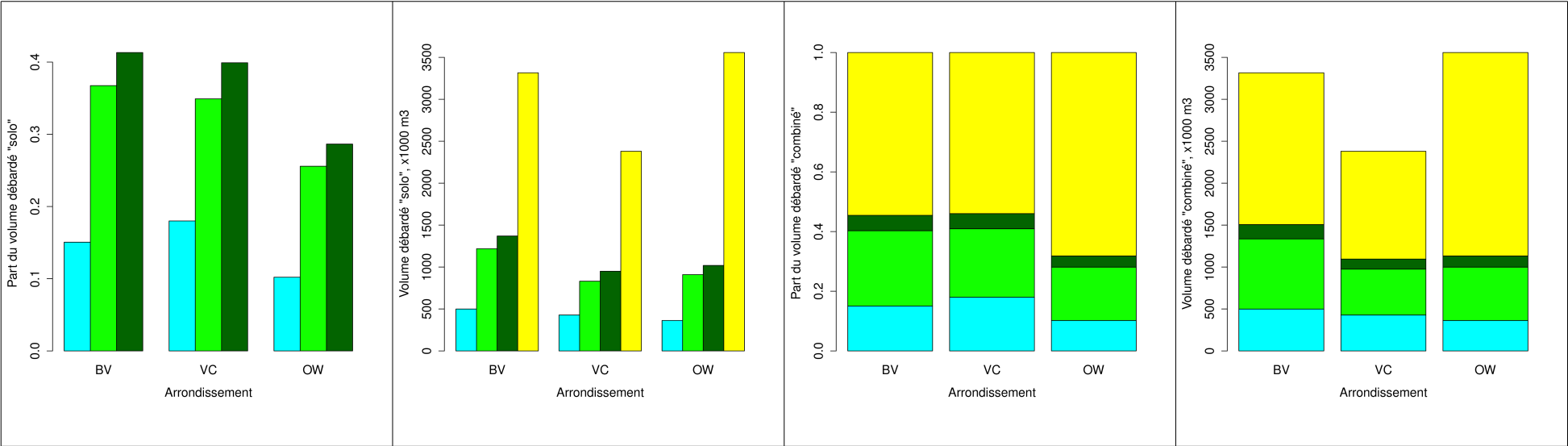
Pour la surface boisée totale avec des données « LiDAR valide », prise en compte du critère volume pour le câble-grue : surface accessible

	Surface “solo” en ha (% arrondissement)				Surface “combinée” en ha (% arrondissement)			
Triage	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère
Bas-Valais	6471 (15.3)	12952 (30.6)	14520 (34.3)	42363 (100)	6471 (15.3)	8427 (19.9)	1789 (4.2)	25675 (60.6)
Valais-Central	4915 (17)	8126 (28.1)	9236 (31.9)	28911 (100)	4915 (17)	5133 (17.8)	1157 (4)	17707 (61.2)
Oberwallis	4900 (10.2)	9723 (20.3)	10827 (22.6)	47815 (100)	4900 (10.2)	6480 (13.6)	1441 (3)	34994 (73.2)



Pour la surface boisée totale avec des données « LiDAR valide », prise en compte du critère volume pour le câble-grue : volume débardé

	Volume débardé “solo” x1000 m³ (% arrondissement)				Volume débardé “combiné” x1000 m³ (% arrondis.)				Prix moyen de débar-dage
Triage	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	
Bas-Valais	499 (15.1)	1218 (36.7)	1370 (41.3)	3316 (100)	499 (15.1)	836 (25.2)	171 (5.2)	1809 (54.6)	103
Valais-Central	428 (18)	831 (34.9)	950 (39.9)	2380 (100)	428 (18)	546 (22.9)	121 (5.1)	1285 (54)	103
Oberwallis	363 (10.2)	910 (25.6)	1019 (28.6)	3557 (100)	363 (10.2)	636 (17.9)	134 (3.8)	2425 (68.2)	113



## PAR TRIAGE

Pour la surface boisée totale, sans prise en compte du critère volume pour le câble-grue : surface accessible

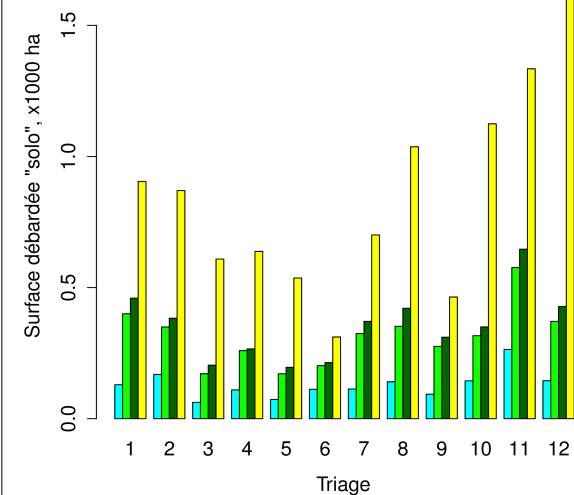
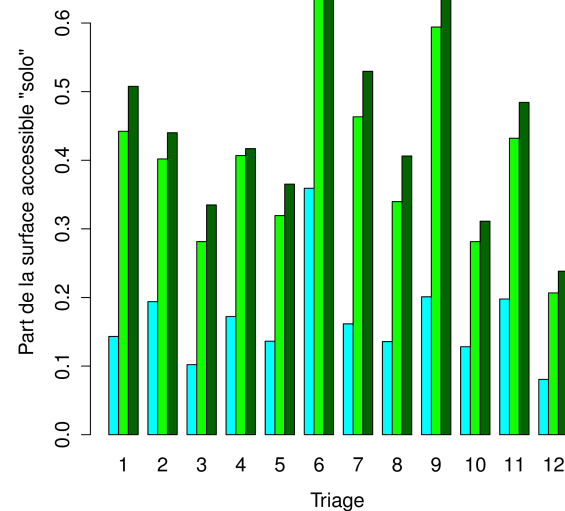
		Surface “solo” en ha (% du triage)				Surface “combinée” en ha (% du triage)			
Id	Triage	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère
1	Service forestier de la commune de Bagnes	540 (14.3)	1667 (44.2)	1914 (50.8)	3770 (100)	540 (14.3)	1203 (31.9)	249 (6.6)	1779 (47.2)
2	Triage forestier Catogne / Mt-Chemin	703 (19.4)	1457 (40.2)	1595 (44)	3625 (100)	703 (19.4)	886 (24.4)	162 (4.5)	1875 (51.7)
3	Triage forestier de Collonges, Dorénaz, Fully	259 (10.2)	714 (28.1)	850 (33.5)	2538 (100)	259 (10.2)	498 (19.6)	141 (5.5)	1640 (64.6)
4	Triage forestier de la Cime de l'Est	458 (17.2)	1081 (40.7)	1108 (41.7)	2658 (100)	458 (17.2)	687 (25.9)	132 (5)	1381 (51.9)
5	Triage forestier de Liddes, Bourg-St-Pierre	305 (13.6)	714 (31.9)	816 (36.5)	2235 (100)	305 (13.6)	514 (23)	115 (5.1)	1302 (58.2)
6	Triage forestier de Monthey	466 (35.9)	843 (64.9)	891 (68.6)	1298 (100)	466 (35.9)	414 (31.9)	50 (3.8)	369 (28.4)
7	Triage forestier des Dents du Midi	472 (16.2)	1353 (46.3)	1546 (53)	2920 (100)	472 (16.2)	932 (31.9)	212 (7.3)	1304 (44.6)
8	Triage forestier des Deux Rives	586 (13.6)	1468 (34)	1755 (40.6)	4321 (100)	586 (13.6)	1007 (23.3)	291 (6.7)	2437 (56.4)
9	Triage forestier de Troistorrents	388 (20.1)	1149 (59.4)	1295 (67)	1933 (100)	388 (20.1)	790 (40.9)	149 (7.7)	606 (31.3)
10	Triage forestier d'Orsières	601 (12.8)	1318 (28.1)	1458 (31.1)	4686 (100)	601 (12.8)	860 (18.4)	244 (5.2)	2981 (63.6)
11	Triage forestier du Haut-Lac	1100 (19.8)	2403 (43.2)	2693 (48.4)	5560 (100)	1100 (19.8)	1539 (27.7)	345 (6.2)	2576 (46.3)
12	Triage forestier Martigny – Vallée du Trient	603 (8.1)	1546 (20.7)	1783 (23.8)	7484 (100)	603 (8.1)	1045 (14)	257 (3.4)	5580 (74.6)
1	Triage forestier d'Anniviers	617 (12.4)	2011 (40.3)	2334 (46.8)	4989 (100)	617 (12.4)	1455 (29.2)	324 (6.5)	2593 (52)
2	Triage forestier de Conthey, Vétroz	545 (16.6)	980 (29.8)	1103 (33.6)	3285 (100)	545 (16.6)	615 (18.7)	149 (4.5)	1975 (60.1)
3	Triage forestier de Saint-Martin	204 (11.9)	657 (38.2)	752 (43.8)	1719 (100)	204 (11.9)	462 (26.9)	94 (5.5)	958 (55.7)
4	Triage forestier du Cône de Thyon	463 (13.3)	801 (23)	929 (26.7)	3474 (100)	463 (13.3)	516 (14.9)	126 (3.6)	2368 (68.2)
5	Triage forestier du Vallon	862 (17.4)	1935 (39.1)	2252 (45.5)	4953 (100)	862 (17.4)	1219 (24.6)	297 (6)	2575 (52)
6	Triage forestier Ecoforêt	634 (17.5)	1286 (35.6)	1575 (43.6)	3615 (100)	634 (17.5)	844 (23.4)	276 (7.6)	1861 (51.5)



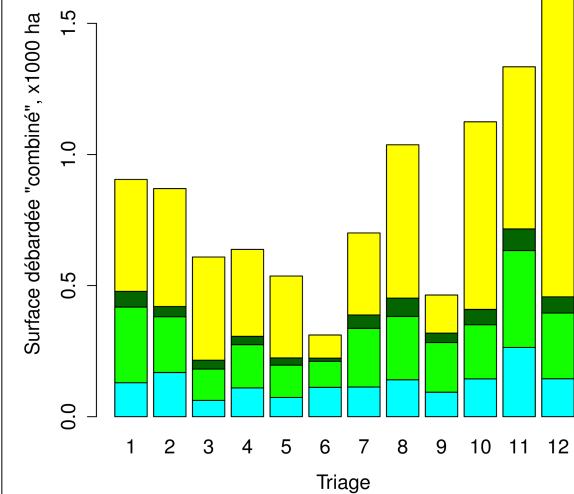
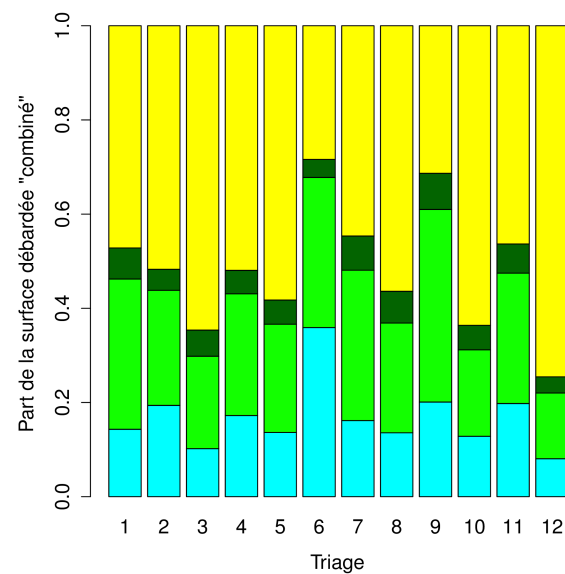
7	Triage forestier Evolène	146 (5.6)	473 (18.2)	552 (21.2)	2603 (100)	146 (5.6)	349 (13.4)	94 (3.6)	2014 (77.4)
8	Triage forestier Lienne - Morge	709 (23.7)	1203 (40.3)	1314 (44)	2984 (100)	709 (23.7)	703 (23.6)	126 (4.2)	1446 (48.4)
9	Triage forestier Louable Contrée	470 (28)	421 (25.2)	435 (25.9)	1676 (100)	470 (28)	203 (12.1)	49 (2.9)	955 (57)
10	Triage forestier Sierre – Noble Contrée	463 (22.2)	823 (39.4)	928 (44.4)	2089 (100)	463 (22.2)	510 (24.4)	104 (5)	1013 (48.5)
1	Forstrevier Brigerberg / Ganter	367 (16.8)	1050 (48.1)	1152 (52.7)	2185 (100)	367 (16.8)	706 (32.3)	108 (5)	1003 (45.9)
2	Forstrevier Brig-Glis	170 (8.7)	484 (24.8)	567 (29)	1952 (100)	170 (8.7)	317 (16.2)	86 (4.4)	1379 (70.6)
3	Forstrevier Forst Aletsch	264 (6.7)	894 (22.6)	1042 (26.4)	3953 (100)	264 (6.7)	650 (16.5)	153 (3.9)	2886 (73)
4	Forstrevier Forst Goms	590 (7.6)	1541 (19.8)	1775 (22.8)	7775 (100)	590 (7.6)	1093 (14.1)	299 (3.8)	5793 (74.5)
5	Forstrevier Inneres Nikolaital	247 (5.2)	337 (7.1)	408 (8.6)	4768 (100)	247 (5.2)	242 (5.1)	77 (1.6)	4203 (88.1)
6	Forstrevier Leuk und Umgebung	1020 (21.6)	2130 (45.2)	2010 (42.6)	4714 (100)	1020 (21.6)	1200 (25.4)	273 (5.8)	2222 (47.1)
7	Forstrevier Lötschental	107 (5.7)	329 (17.5)	403 (21.4)	1887 (100)	107 (5.7)	226 (12)	76 (4)	1478 (78.3)
8	Forstrevier Massa	160 (5.5)	511 (17.6)	585 (20.1)	2905 (100)	160 (5.5)	368 (12.7)	92 (3.2)	2285 (78.7)
9	Forstrevier Saastal	311 (14.4)	902 (41.7)	1008 (46.6)	2165 (100)	311 (14.4)	618 (28.6)	111 (5.1)	1125 (52)
10	Forstrevier Simplon-Süd	305 (7.4)	1032 (25.1)	1185 (28.9)	4105 (100)	305 (7.4)	744 (18.1)	188 (4.6)	2867 (69.8)
11	Forstrevier Sonnenberge - Dala	416 (13.4)	1279 (41.1)	1455 (46.8)	3111 (100)	416 (13.4)	872 (28)	187 (6)	1635 (52.6)
12	Forstrevier Stalden und Umgebung	192 (4.4)	612 (14.1)	763 (17.6)	4335 (100)	192 (4.4)	448 (10.3)	163 (3.8)	3532 (81.5)
13	Forstrevier Südrampe Raron	168 (6.2)	616 (22.6)	706 (25.9)	2720 (100)	168 (6.2)	451 (16.6)	100 (3.7)	2000 (73.5)
14	Forstrevier Visp und Umgebung	738 (11.5)	1866 (29.1)	2112 (32.9)	6414 (100)	738 (11.5)	1275 (19.9)	277 (4.3)	4123 (64.3)

## Bas-Valais

Pour la surface boisée totale, sans prise en compte du critère volume pour le câble-grue : surface accessible.

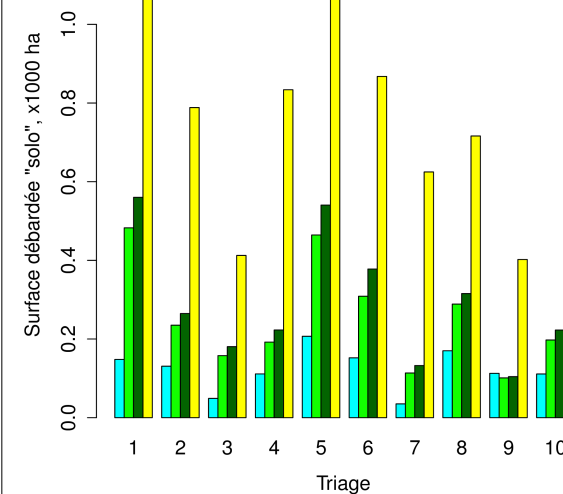
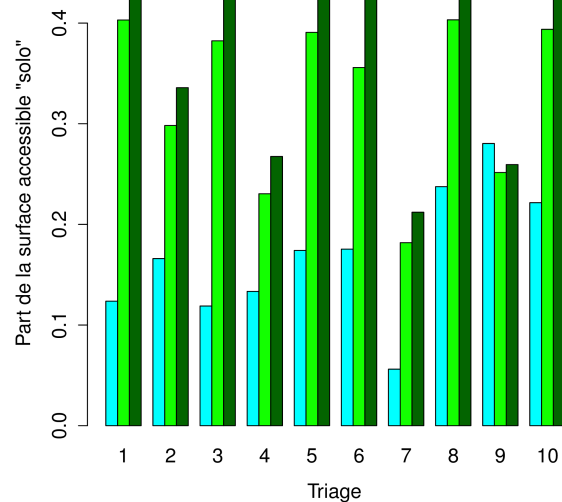


- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère

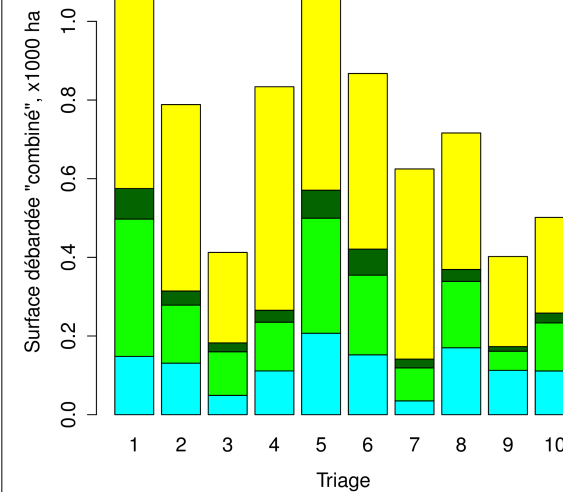
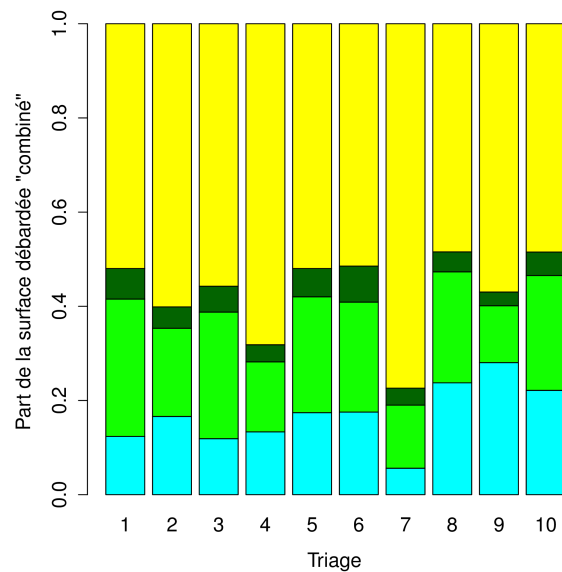


## Valais central

Pour la surface boisée totale, sans prise en compte du critère volume pour le câble-grue : surface accessible.

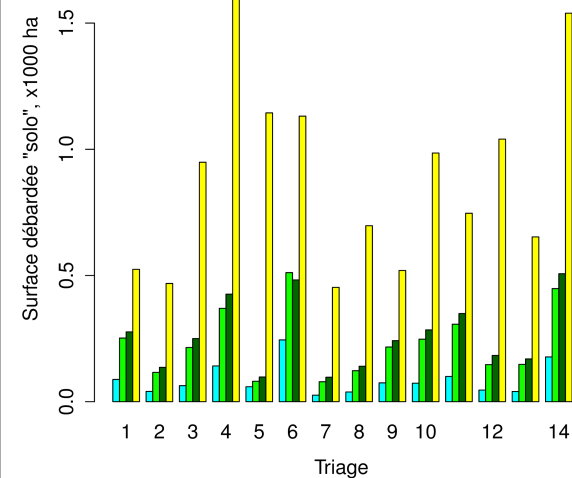
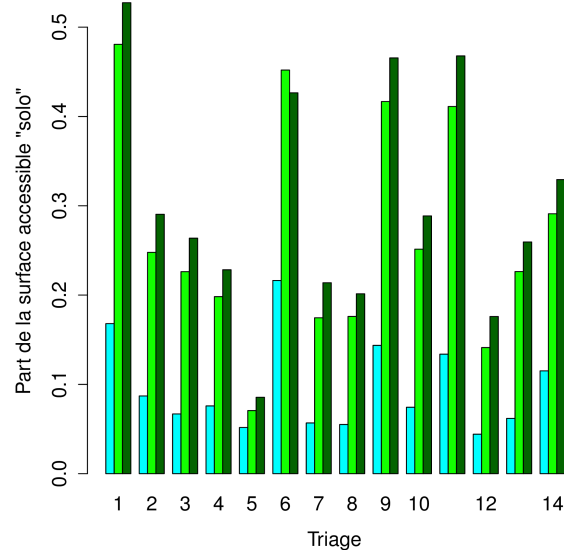


- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère

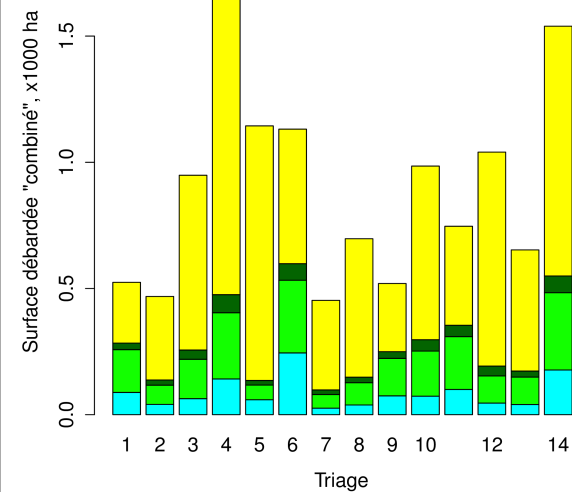
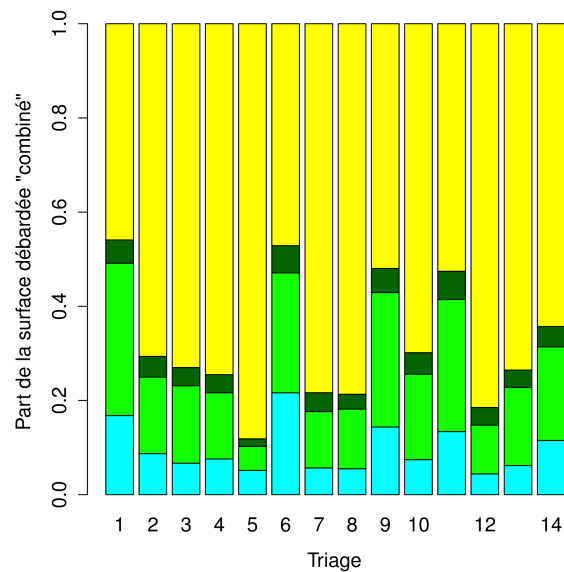


## Oberwallis

Pour la surface boisée totale, sans prise en compte du critère volume pour le câble-grue : surface accessible.



- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère



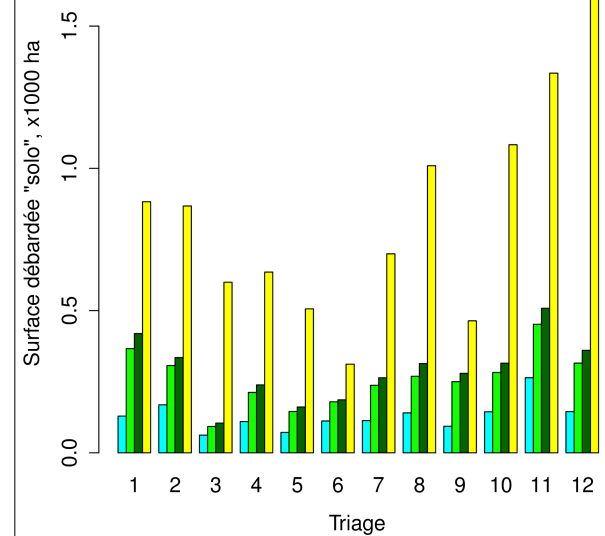
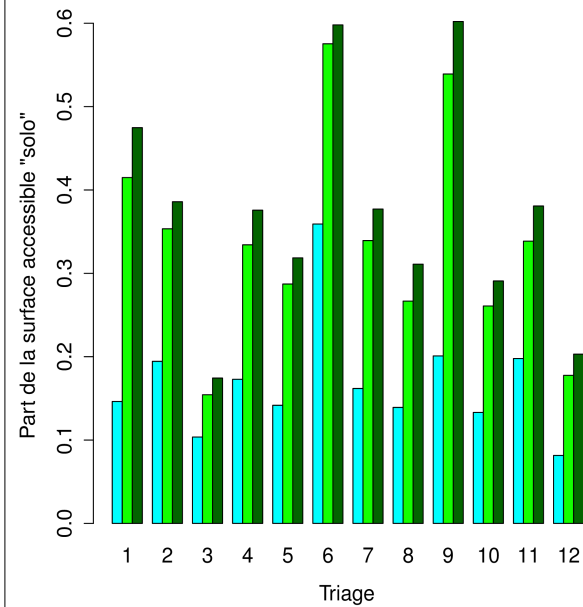
**Pour la surface boisée totale avec des données « LiDAR valide », prise en compte du critère volume pour le câble-grue : surface accessible**

Id	Triage	Surface “solo” en ha (% du triage)				Surface “combinée” en ha (% du triage)			
		Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère
1	Service forestier de la commune de Bagnes	538 (14.6)	1526 (41.5)	1746 (47.5)	3677 (100)	538 (14.6)	1091 (29.7)	224 (6.1)	1824 (49.6)
2	Triage forestier Catogne / Mt-Chemin	703 (19.4)	1278 (35.3)	1395 (38.6)	3615 (100)	703 (19.4)	761 (21.1)	139 (3.9)	2011 (55.6)
3	Triage forestier de Collonges, Dorénaz, Fully	259 (10.4)	386 (15.4)	436 (17.4)	2499 (100)	259 (10.4)	272 (10.9)	56 (2.2)	1911 (76.5)
4	Triage forestier de la Cime de l'Est	458 (17.3)	885 (33.4)	995 (37.6)	2647 (100)	458 (17.3)	602 (22.7)	120 (4.5)	1468 (55.5)
5	Triage forestier de Liddes, Bourg-St-Pierre	299 (14.2)	605 (28.7)	672 (31.9)	2108 (100)	299 (14.2)	435 (20.6)	79 (3.7)	1296 (61.5)
6	Triage forestier de Monthey	466 (35.9)	747 (57.5)	776 (59.8)	1298 (100)	466 (35.9)	364 (28)	32 (2.5)	436 (33.6)
7	Triage forestier des Dents du Midi	472 (16.2)	989 (33.9)	1099 (37.7)	2914 (100)	472 (16.2)	643 (22.1)	130 (4.5)	1669 (57.3)
8	Triage forestier des Deux Rives	585 (13.9)	1121 (26.7)	1308 (31.1)	4205 (100)	585 (13.9)	751 (17.9)	194 (4.6)	2675 (63.6)
9	Triage forestier de Troistorrents	388 (20.1)	1042 (53.9)	1164 (60.2)	1933 (100)	388 (20.1)	710 (36.7)	124 (6.4)	711 (36.8)
10	Triage forestier d'Orsières	601 (13.3)	1177 (26.1)	1312 (29.1)	4512 (100)	601 (13.3)	751 (16.7)	223 (4.9)	2937 (65.1)
11	Triage forestier du Haut-Lac	1100 (19.8)	1883 (33.9)	2117 (38.1)	5560 (100)	1100 (19.8)	1174 (21.1)	265 (4.8)	3022 (54.3)
12	Triage forestier Martigny – Vallée du Trient	603 (8.2)	1314 (17.8)	1501 (20.3)	7394 (100)	603 (8.2)	872 (11.8)	204 (2.8)	5715 (77.3)
1	Triage forestier d'Anniviers	539 (12.5)	1573 (36.6)	1824 (42.5)	4294 (100)	539 (12.5)	1107 (25.8)	260 (6)	2389 (55.6)
2	Triage forestier de Conthey, Vétroz	545 (16.6)	599 (18.2)	680 (20.7)	3280 (100)	545 (16.6)	373 (11.4)	89 (2.7)	2272 (69.3)
3	Triage forestier de Saint-Martin	191 (12.7)	558 (37)	624 (41.4)	1508 (100)	191 (12.7)	384 (25.4)	67 (4.4)	867 (57.5)
4	Triage forestier du Cône de Thyon	457 (14.1)	741 (22.9)	844 (26.1)	3237 (100)	457 (14.1)	470 (14.5)	100 (3.1)	2210 (68.3)
5	Triage forestier du Vallon	822 (17.9)	1656 (36.1)	1890 (41.2)	4590 (100)	822 (17.9)	1008 (22)	222 (4.8)	2539 (55.3)
6	Triage forestier Ecoforêt	576 (18.2)	964 (30.5)	1154 (36.5)	3159 (100)	576 (18.2)	616 (19.5)	184 (5.8)	1783 (56.4)

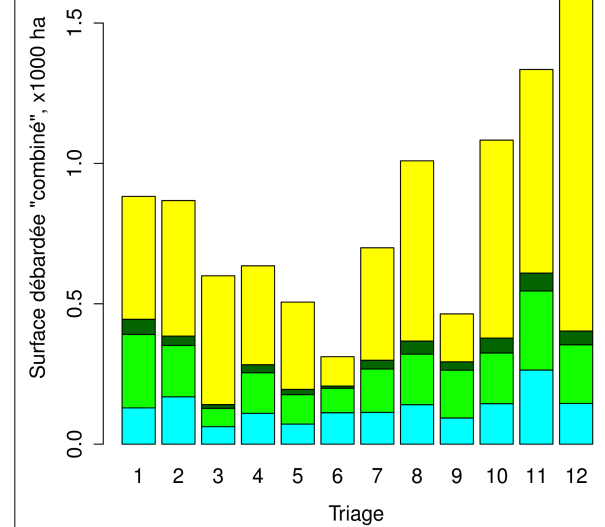
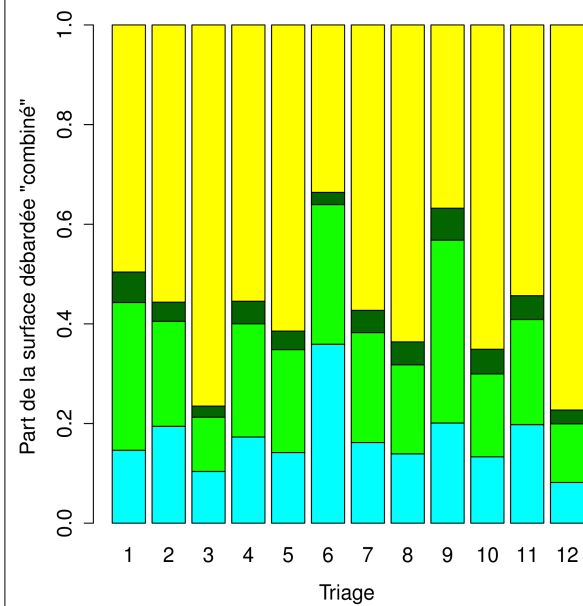
7	Triage forestier Evolène	143 (6.6)	393 (18)	469 (21.5)	2178 (100)	143 (6.6)	292 (13.4)	81 (3.7)	1661 (76.3)
8	Triage forestier Lienne - Morge	708 (23.9)	830 (28)	896 (30.3)	2963 (100)	708 (23.9)	453 (15.3)	74 (2.5)	1727 (58.3)
9	Triage forestier Louable Contrée	470 (28.4)	286 (17.3)	256 (15.5)	1651 (100)	470 (28.4)	106 (6.4)	17 (1)	1058 (64.1)
10	Triage forestier Sierre – Noble Contrée	463 (22.6)	526 (25.7)	599 (29.2)	2050 (100)	463 (22.6)	323 (15.7)	63 (3.1)	1201 (58.6)
1	Forstrevier Brigerberg / Ganter	344 (16.6)	835 (40.3)	897 (43.4)	2069 (100)	344 (16.6)	558 (27)	83 (4)	1084 (52.4)
2	Forstrevier Brig-Glis	170 (9)	348 (18.4)	415 (22)	1887 (100)	170 (9)	212 (11.2)	67 (3.6)	1438 (76.2)
3	Forstrevier Forst Aletsch	264 (7)	802 (21.2)	929 (24.6)	3783 (100)	264 (7)	572 (15.1)	133 (3.5)	2813 (74.4)
4	Forstrevier Forst Goms	583 (8)	1235 (17)	1428 (19.6)	7270 (100)	583 (8)	872 (12)	224 (3.1)	5591 (76.9)
5	Forstrevier Inneres Nikolaital	232 (6.4)	209 (5.8)	234 (6.5)	3614 (100)	232 (6.4)	133 (3.7)	29 (0.8)	3220 (89.1)
6	Forstrevier Leuk und Umgebung	995 (23.2)	1393 (32.4)	1430 (33.3)	4295 (100)	995 (23.2)	821 (19.1)	187 (4.4)	2292 (53.4)
7	Forstrevier Lötschental	107 (6.3)	270 (15.8)	320 (18.8)	1703 (100)	107 (6.3)	182 (10.7)	55 (3.3)	1359 (79.8)
8	Forstrevier Massa	160 (5.7)	422 (15)	463 (16.5)	2815 (100)	160 (5.7)	295 (10.5)	66 (2.4)	2294 (81.5)
9	Forstrevier Saastal	254 (16.6)	368 (24.1)	405 (26.6)	1525 (100)	254 (16.6)	244 (16)	51 (3.3)	976 (64)
10	Forstrevier Simplon-Süd	299 (7.7)	403 (10.4)	431 (11.1)	3874 (100)	299 (7.7)	274 (7.1)	54 (1.4)	3248 (83.8)
11	Forstrevier Sonnenberge - Dala	410 (13.5)	1045 (34.3)	1178 (38.7)	3044 (100)	410 (13.5)	675 (22.2)	137 (4.5)	1822 (59.9)
12	Forstrevier Stalden und Umgebung	179 (4.9)	433 (12)	526 (14.5)	3620 (100)	179 (4.9)	330 (9.1)	98 (2.7)	3014 (83.2)
13	Forstrevier Südrampe Raron	168 (6.4)	326 (12.4)	371 (14.1)	2624 (100)	168 (6.4)	223 (8.5)	56 (2.1)	2177 (82.9)
14	Forstrevier Visp und Umgebung	734 (12.9)	1635 (28.7)	1799 (31.6)	5690 (100)	734 (12.9)	1088 (19.1)	200 (3.5)	3667 (64.5)

## Bas-Valais

Pour la surface boisée avec données LiDAR  
« valide », prise en compte du critère volume  
pour le câble-grue : surface accessible

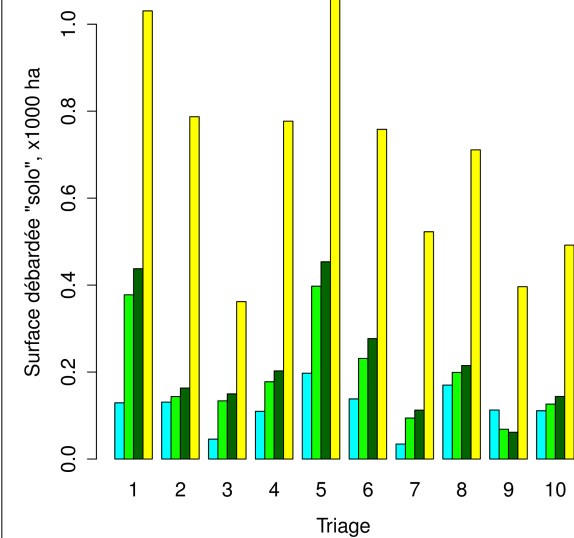
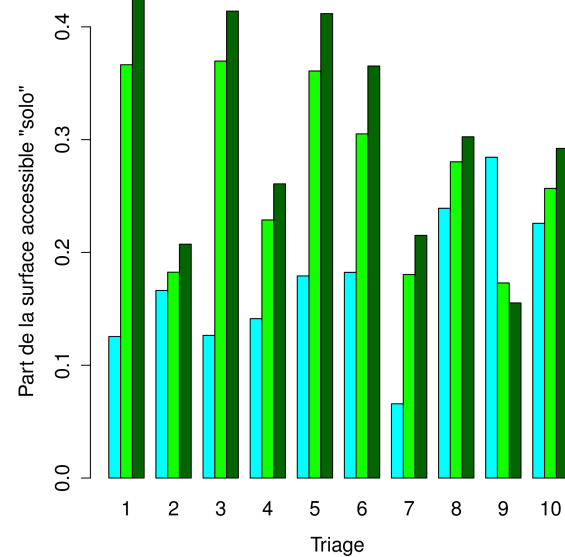


- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère

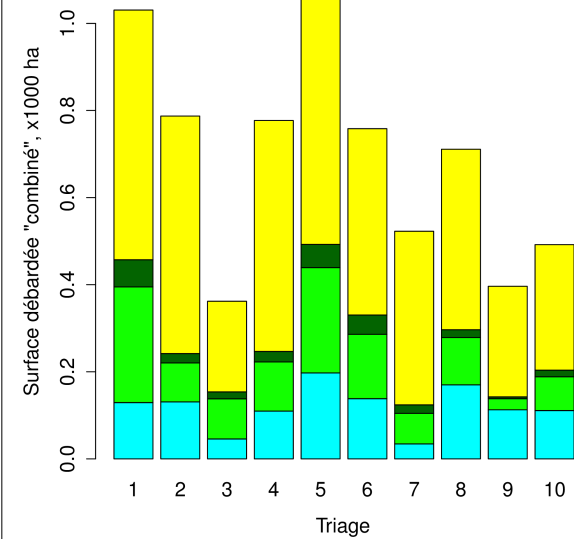
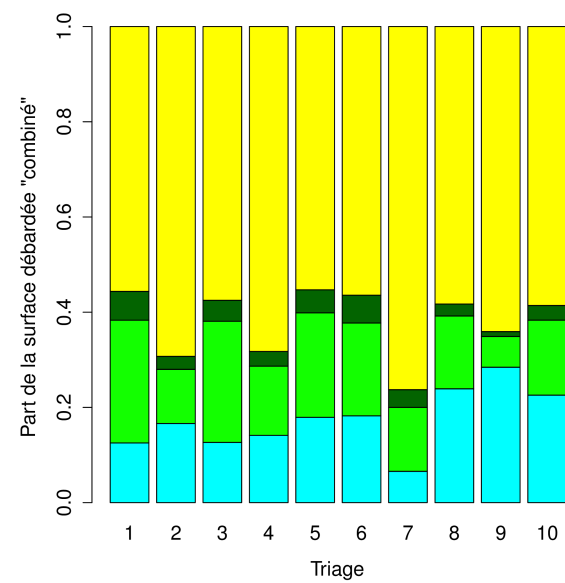


## Valais central

Pour la surface boisée avec données LiDAR  
« valide », prise en compte du critère volume  
pour le câble-grue : surface accessible.



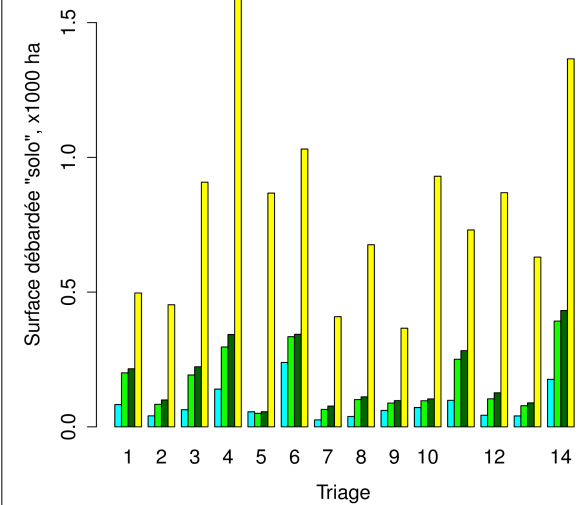
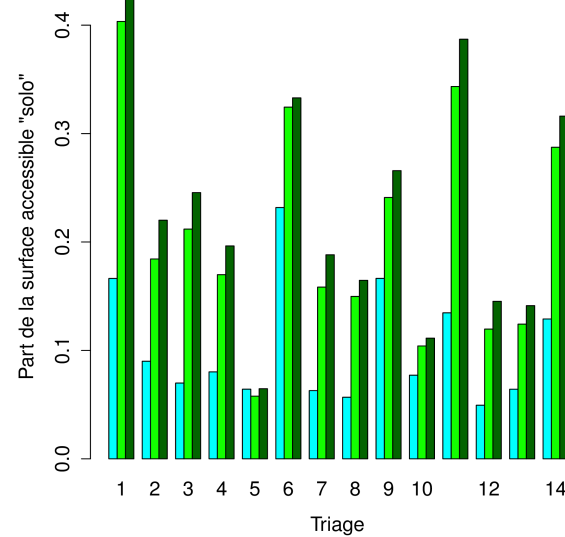
- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère



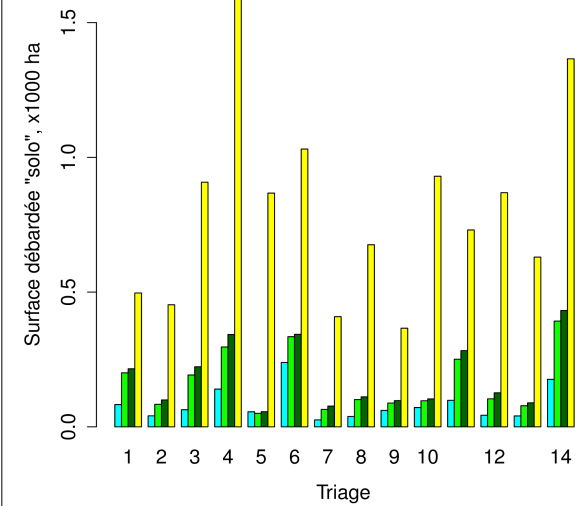
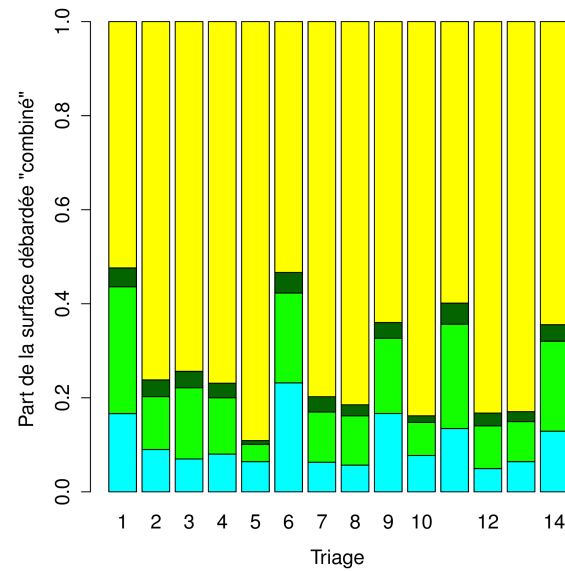


## Oberwallis

Pour la surface boisée avec données LiDAR  
« valide », prise en compte du critère volume  
pour le câble-grue : surface accessible.



- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère



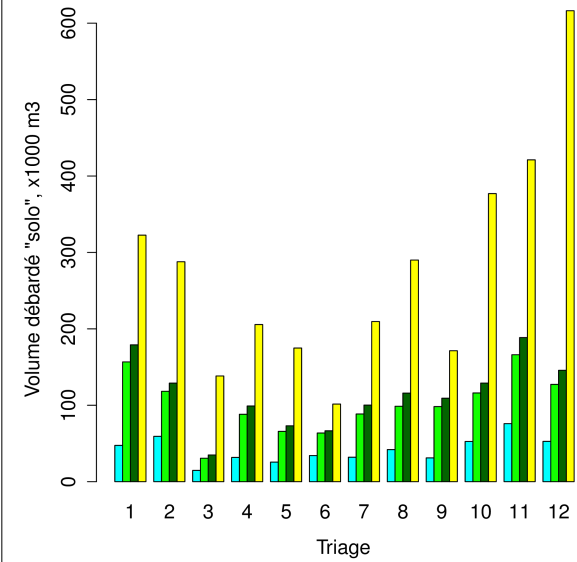
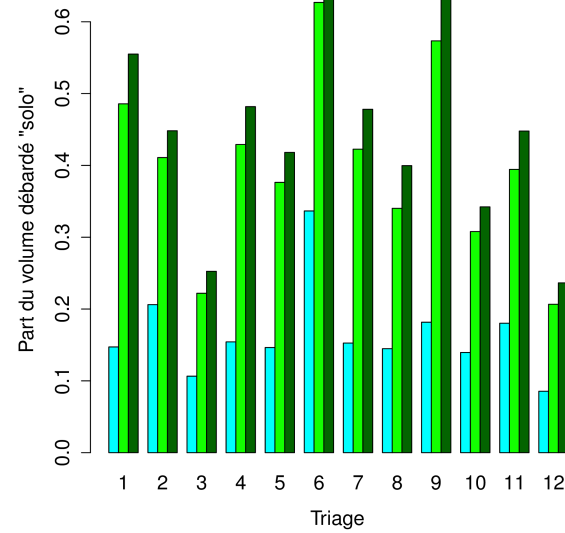
**Pour la surface boisée totale avec des données « LiDAR valide », prise en compte du critère volume pour le câble-grue : volume débardé**

Id	Triage	Volume débardé « solo » x1000 m³ (% du triage)				Volume débardé « combiné » x1000 m³ (% du triage)				Prix moyen de débar-dage
		Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	Tracteur	Câble-grue mobile	Câble-grue conventionnel	Hélicoptère	
1	Service forestier de la commune de Bagnes	47 (14.7)	157 (48.6)	179 (55.5)	323 (100)	47 (14.7)	116 (36)	23 (7.1)	136 (42.2)	95.9
2	Triage forestier Catogne / Mt-Chemin	59 (20.6)	118 (41.1)	129 (44.8)	288 (100)	59 (20.6)	73 (25.4)	13 (4.5)	142 (49.5)	98.9
3	Triage forestier de Collonges, Dorénaz, Fully	15 (10.7)	31 (22.2)	35 (25.3)	138 (100)	15 (10.7)	23 (16.5)	5 (3.3)	96 (69.6)	113.8
4	Triage forestier de la Cime de l'Est	32 (15.4)	88 (42.9)	99 (48.2)	206 (100)	32 (15.4)	63 (30.5)	12 (5.6)	100 (48.5)	99.6
5	Triage forestier de Liddes, Bourg-St-Pierre	26 (14.6)	66 (37.6)	73 (41.8)	175 (100)	26 (14.6)	49 (28)	8 (4.6)	92 (52.8)	102.3
6	Triage forestier de Monthey	34 (33.7)	64 (62.7)	67 (65.6)	102 (100)	34 (33.7)	34 (33.6)	3 (3)	30 (29.7)	83.2
7	Triage forestier des Dents du Midi	32 (15.3)	89 (42.3)	100 (47.8)	210 (100)	32 (15.3)	63 (30.1)	13 (6.3)	101 (48.3)	99.6
8	Triage forestier des Deux Rives	42 (14.5)	99 (34)	116 (40)	290 (100)	42 (14.5)	70 (24.1)	18 (6.1)	161 (55.4)	104.3
9	Triage forestier de Troistorrents	31 (18.2)	98 (57.3)	109 (63.7)	171 (100)	31 (18.2)	71 (41.4)	11 (6.5)	58 (33.9)	89.7
10	Triage forestier d'Orsières	53 (14)	116 (30.8)	129 (34.2)	377 (100)	53 (14)	76 (20.1)	22 (5.8)	227 (60.1)	107.5
11	Triage forestier du Haut-Lac	76 (18)	166 (39.4)	189 (44.8)	421 (100)	76 (18)	113 (26.8)	25 (5.9)	207 (49.2)	99.6
12	Triage forestier Martigny – Vallée du Trient	53 (8.6)	127 (20.7)	146 (23.6)	616 (100)	53 (8.6)	86 (13.9)	19 (3.1)	459 (74.4)	117.3
1	Triage forestier d'Anniviers	50 (12.7)	164 (42.1)	191 (48.9)	391 (100)	50 (12.7)	120 (30.7)	27 (7)	194 (49.6)	101.1
2	Triage forestier de Conthey, Vétroz	37 (18.8)	50 (25.7)	58 (29.4)	196 (100)	37 (18.8)	33 (16.7)	7 (3.7)	119 (60.8)	106.5
3	Triage forestier de Saint-Martin	19 (12.9)	62 (42.9)	69 (48.2)	144 (100)	19 (12.9)	44 (30.8)	8 (5.3)	73 (51)	101.6
4	Triage forestier du Cône de Thyon	53 (18.5)	85 (29.5)	97 (33.8)	287 (100)	53 (18.5)	55 (19.1)	11 (4)	168 (58.4)	105.1
5	Triage forestier du Vallon	81 (20)	180 (44.4)	204 (50.5)	404 (100)	81 (20)	114 (28.1)	23 (5.7)	186 (46.1)	97.1
6	Triage forestier Ecoforêt	56 (18.6)	107 (35.5)	129 (42.7)	301 (100)	56 (18.6)	70 (23.3)	21 (7)	153 (51)	100.8
7	Triage forestier Evolène	13 (6.6)	41 (21.3)	50 (26.1)	193 (100)	13 (6.6)	32 (16.3)	10 (5)	139 (72)	116.5

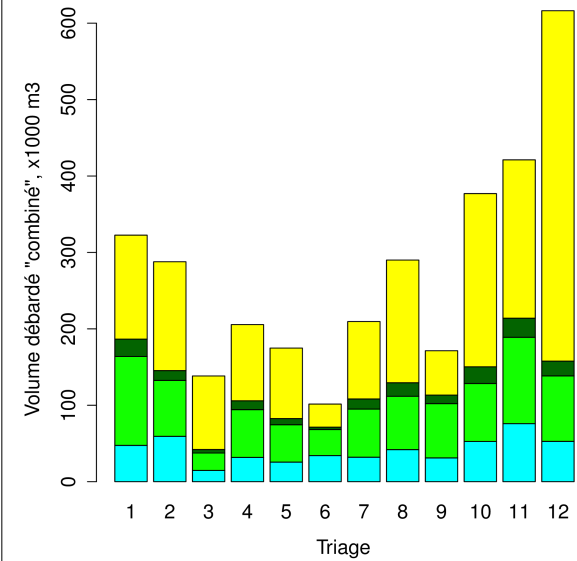
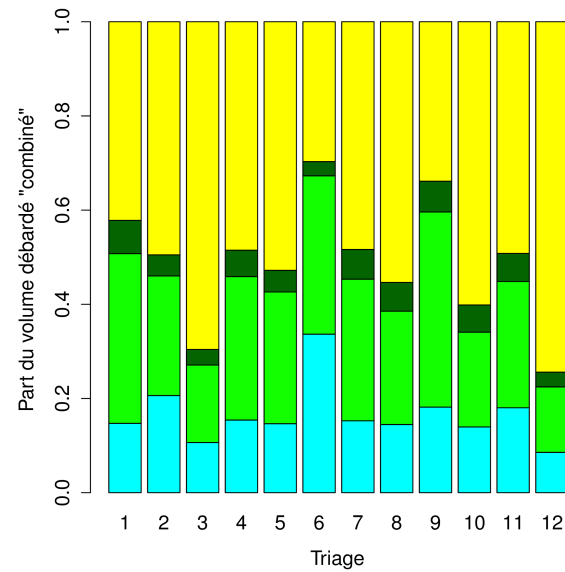
8	Triage forestier Lienne - Morge	51 (24.5)	71 (33.8)	76 (36.6)	209 (100)	51 (24.5)	40 (19.2)	6 (3)	111 (53.3)	100.3
9	Triage forestier Louable Contrée	40 (31.3)	26 (20.9)	24 (19)	127 (100)	40 (31.3)	10 (8)	2 (1.4)	75 (59.3)	102.6
10	Triage forestier Sierre – Noble Contrée	30 (23.1)	46 (35.2)	51 (39.7)	129 (100)	30 (23.1)	29 (22.1)	5 (4.1)	66 (50.6)	99.1
1	Forstrevier Brigerberg / Ganter	24 (15.9)	76 (49.7)	83 (53.8)	154 (100)	24 (15.9)	55 (35.6)	8 (5)	67 (43.5)	96.1
2	Forstrevier Brig-Glis	11 (7.8)	29 (21)	35 (25.1)	138 (100)	11 (7.8)	19 (14)	6 (4.1)	102 (74.1)	117.4
3	Forstrevier Forst Aletsch	22 (7.3)	78 (25.4)	90 (29.3)	307 (100)	22 (7.3)	58 (18.9)	12 (4.1)	215 (69.8)	114.7
4	Forstrevier Forst Goms	48 (7.9)	129 (21.1)	151 (24.7)	610 (100)	48 (7.9)	96 (15.8)	24 (4)	442 (72.4)	116.3
5	Forstrevier Inneres Nikolaital	16 (6.6)	15 (6.3)	17 (7)	244 (100)	16 (6.6)	10 (4)	2 (0.8)	216 (88.5)	126.4
6	Forstrevier Leuk und Umgebung	68 (21.7)	136 (43.2)	146 (46.2)	315 (100)	68 (21.7)	86 (27.3)	19 (5.9)	142 (45.1)	96.2
7	Forstrevier Lötschental	9 (6.4)	28 (19)	33 (22.7)	146 (100)	9 (6.4)	19 (13.3)	6 (4)	112 (76.3)	119.1
8	Forstrevier Massa	13 (6.4)	37 (19)	41 (20.7)	196 (100)	13 (6.4)	27 (13.8)	6 (3)	151 (76.9)	119.3
9	Forstrevier Saastal	14 (17.2)	26 (31.5)	29 (34.6)	84 (100)	14 (17.2)	18 (21.5)	3 (4.1)	48 (57.2)	104.6
10	Forstrevier Simplon-Süd	16 (7.9)	31 (15.1)	33 (16.1)	206 (100)	16 (7.9)	22 (10.8)	4 (2)	164 (79.3)	120.3
11	Forstrevier Sonnenberge - Dala	34 (14.2)	95 (40.1)	106 (44.8)	237 (100)	34 (14.2)	63 (26.6)	12 (4.9)	129 (54.3)	103.5
12	Forstrevier Stalden und Umgebung	13 (4.7)	39 (14.5)	47 (17.5)	268 (100)	13 (4.7)	30 (11.3)	9 (3.2)	217 (80.8)	122.2
13	Forstrevier Südrampe Raron	9 (5.6)	24 (14.7)	27 (16.8)	162 (100)	9 (5.6)	17 (10.5)	4 (2.6)	132 (81.3)	122.3
14	Forstrevier Visp und Umgebung	65 (13.3)	166 (33.9)	182 (37.2)	489 (100)	65 (13.3)	114 (23.4)	20 (4)	290 (59.3)	106.7

## Bas-Valais

Pour la surface boisée avec données LiDAR  
« valide », prise en compte du critère volume  
pour le câble-grue : volume débarqué

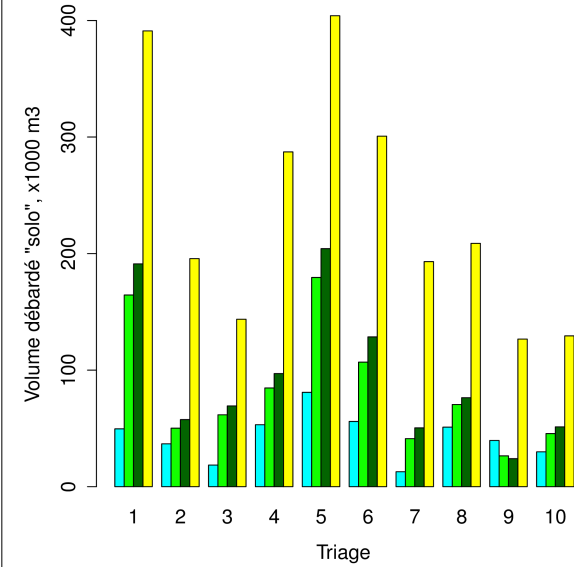
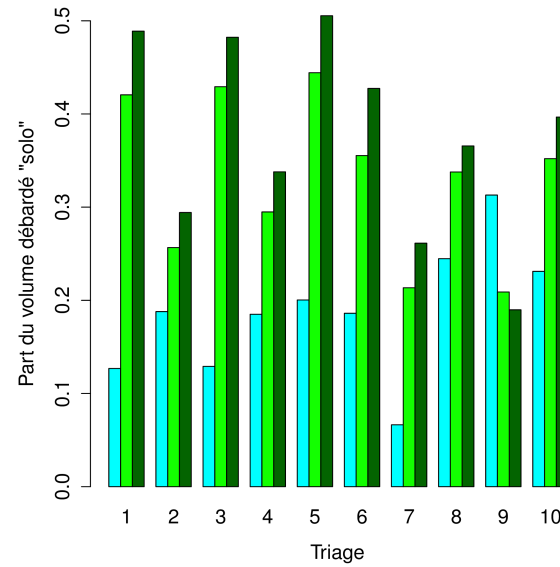


- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère

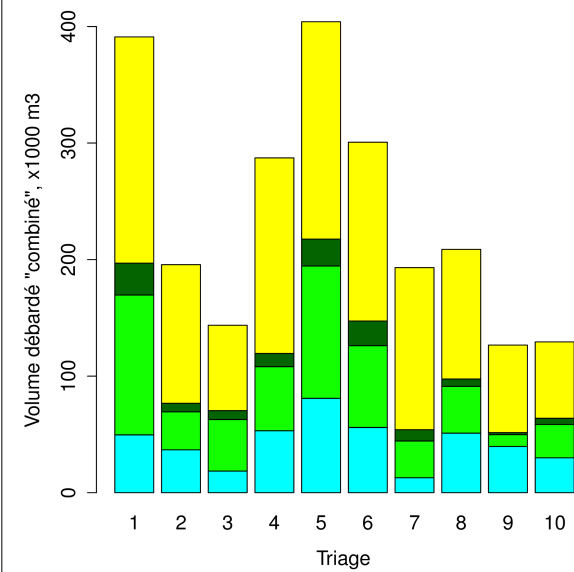
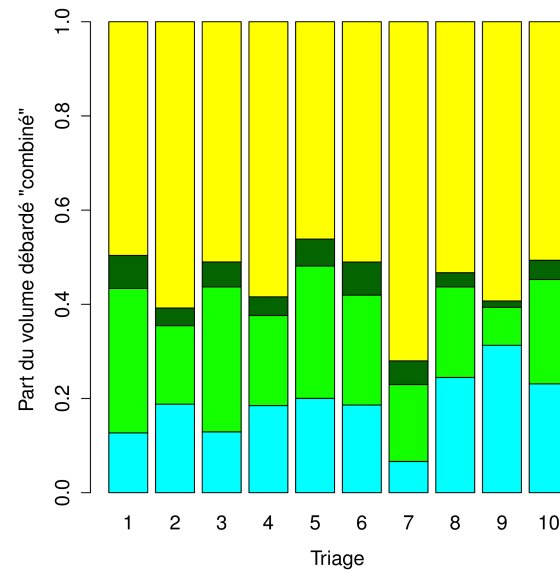


## Valais central

Pour la surface boisée avec données LiDAR  
« valide », prise en compte du critère volume  
pour le câble-grue : volume débardé

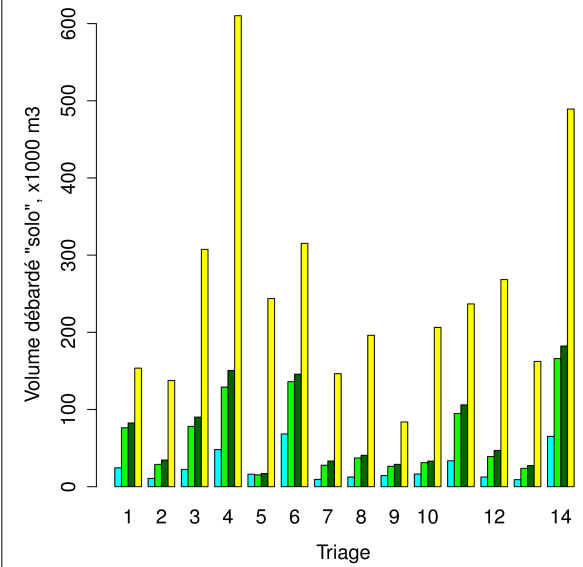
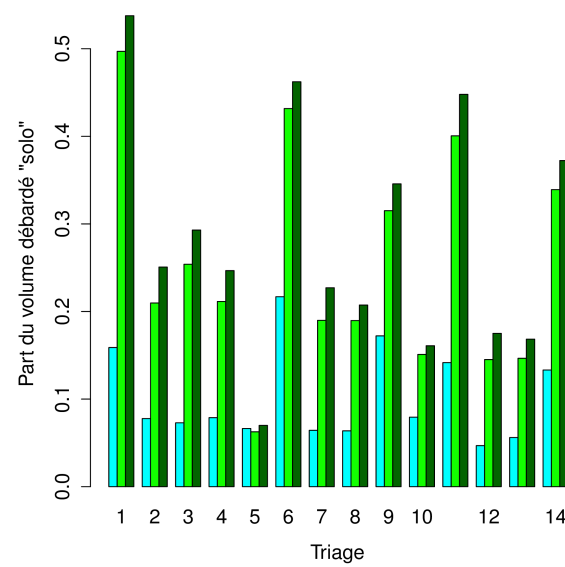


- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère



## Oberwallis

Pour la surface boisée avec données LiDAR  
« valide », prise en compte du critère volume  
pour le câble-grue : volume débardé



- Tracteur
- Câble-grue mobile
- Câble-grue conventionnel
- Hélicoptère

