

Modélisation des paramètres forestiers

Parc naturel régional du Massif des Bauges

Jean-Matthieu MONNET

4 novembre 2019

- Introduction
- 1 Inventaire
 - 1.1 Chargement des données géographiques
 - 1.2 Chargement des données inventoriées
 - 1.3 Placettes réalisées
 - 1.4 Calcul des variables par placette
- 2 Calibration
 - 2.1 Chargement des nuages sur les placettes
 - 2.2 Modélisation
- 3 Cartographie
 - 3.1 Cartographie des métriques pour chaque acquisition
 - 3.2 Mosaïque des métriques
 - 3.3 Cartographie des variables par application des modèles
 - 3.4 Cartographie de la proportion des résineux en surface terrière par modification de la couche ONF

Introduction

L'objectif de ce document est de présenter la modélisation qui a aboutit aux cartes de surface terrière, de diamètre quadratique et proportion résineuse dans la surface terrière qui servent à initialiser l'état sylvicole des parcelles du territoire. Des cartes ont été produites par l'ONF mais celles-ci n'ont pas pu être utilisées directement car :

- les modèles de croissance requièrent une description du peuplement incorporant les petits arbres (diamètre inférieur à 17.5 cm), alors que les modélisations ONF ont été faites pour les arbres de plus de 17.5 cm ;
- des prédictions doivent être disponibles pour l'ensemble des zones de forêt, alors que les zones où la modélisation basée sur la détection d'arbre est peu fiable ont été exclues de l'analyse (zone "filtre carto").

Des modèles ont donc été calibrés et appliqués par une approche surfacique basée uniquement sur le nuage de points, plus basique et probablement moins performante que la méthode intégrant une détection préalable, mais plus à même de fournir des estimations sur l'ensemble de la surface forestière. Cependant, étant donné la très faible performance de cette méthode pour la prédiction du pourcentage de résineux dans la surface terrière, les prédictions de l'ONF ont été utilisées et extrapolées dans les zones non prédites.

Le détail des données et méthodes utilisées est présenté dans ce document.

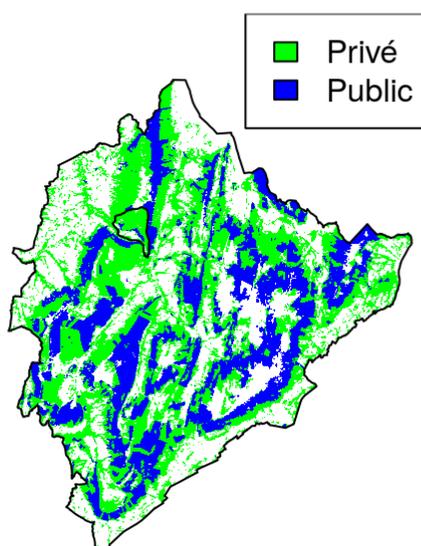
1 Inventaire

1.1 Chargement des données géographiques

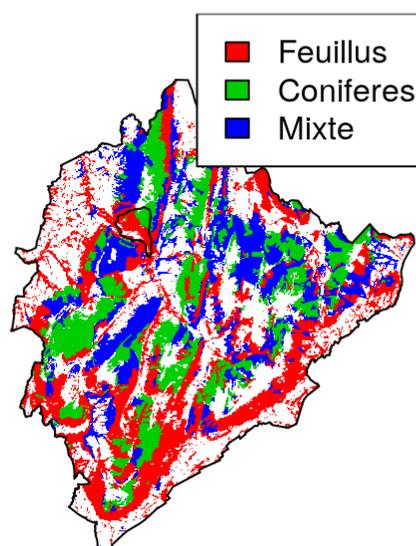
La couche SIG des emprises à cartographier est la BD Forêt V2 (hors formation herbacée, lande, peupleraie), obtenue par découpage des BD départementales 73 et 74 par la limite des départements (pour supprimer la zone tampon de chacune) puis fusion, puis découpage par l'emprise du PNR + commune d'Allèves. L'information sur la propriété a été ajoutée par union avec la couche des forêts publiques (fusion des parcelles ONF puis découpage par l'emprise du PNR + Allèves). Un champ "strata" est ajouté à la BD Forêt avec les catégories "Feuillus", "Mixte", "Résineux" basé sur le champ "ESSENCE". Le tableau de contingence montre le nombre de polygones selon les champs "strata" et "essence". Les figures montrent les forêts de la zone d'étude, selon la distinction public/privé ou feuillus/résineux.

##		Feuillus	Coniferes	Mixte
##	Châtaignier	3	0	0
##	Chênes décidus	9	0	0
##	Conifères	0	161	0
##	Douglas	0	9	0
##	Feuillus	2674	0	0
##	Hêtre	356	0	0
##	Mixte	0	0	1614
##	NR	0	0	4
##	Pin laricio, pin noir	0	21	0
##	Pin sylvestre	0	5	0
##	Sapin, épicéa	0	1205	0

Propriété des forêts



Type d'essence



1.2 Chargement des données inventoriées

Le protocole de mesure pour chaque placette est adapté d'un protocole (https://protest.irstea.fr/wp-content/uploads/2018/06/88_Protocole_obs_for%C3%AAt_Savoie_PROTEST.pdf) mis en place sur l'ensemble des forêts de Savoie. Les données prises sont :

- données générales sur la placette, dont le relevé de la position pour pouvoir croiser avec les données de télédétection ;
- arbres vivants de plus de 17.5 cm de diamètre dans un rayon de 15 m ;
- perches et brins de taillis (diamètre entre 7.5 et 17.5 cm) dans un rayon de 10 m ;
- régénération (tiges de hauteur supérieure à 50 cm et diamètre inférieur à 7.5 cm) sur trois sous-placeaux de 2 m de rayon ;
- bois morts sur pied et au sol de plus de 30 cm, dans un rayon de 15 m (arbres sur pied) et 20 m (arbres au sol).

1.3 Placettes réalisées

315 placettes boisées ont été mesurées dans le domaine d'étude. Le champ ESSENCE de la BD Forêt est extrait à la position des placettes. Une placette supplémentaire manifestement située en forêt mais hors BD Forêt est conservée dans l'analyse (placette 223_74_ONF, affectée à la catégorie "Mixte").

1.4 Calcul des variables par placette

Les variables forestières suivantes sont calculées pour chaque placette (arbres vivants uniquement) :

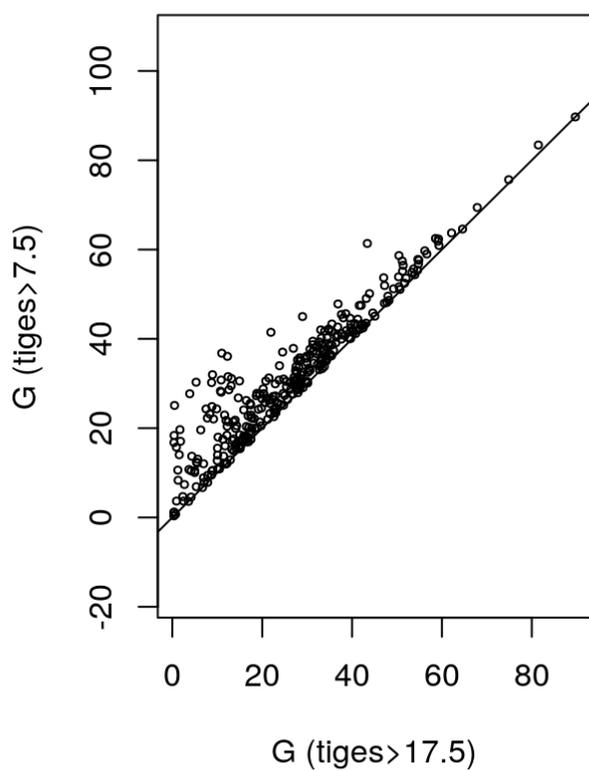
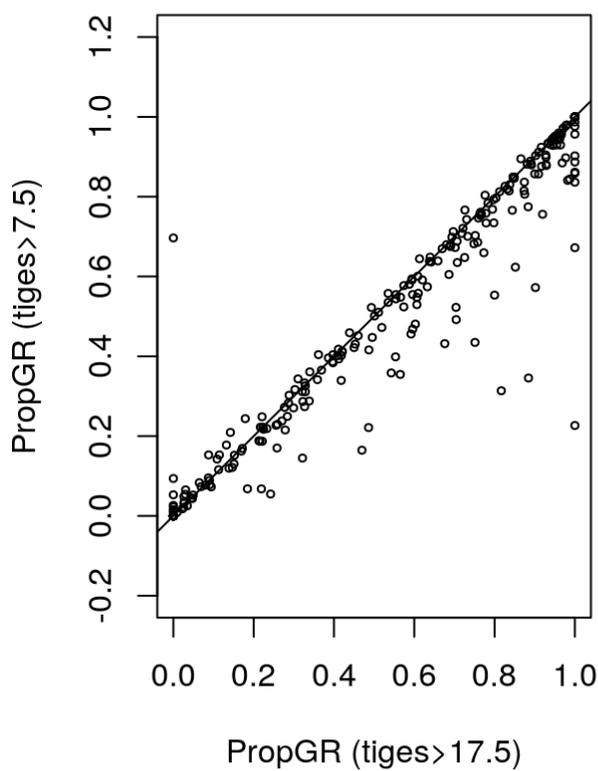
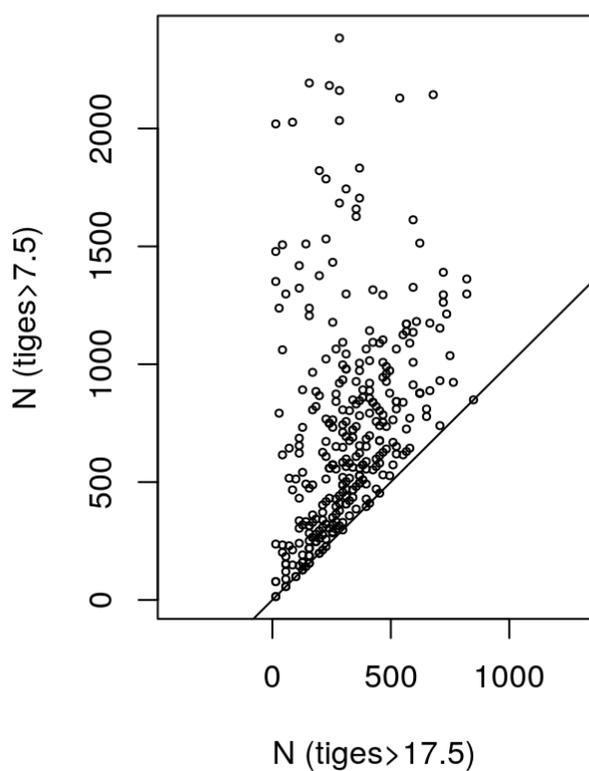
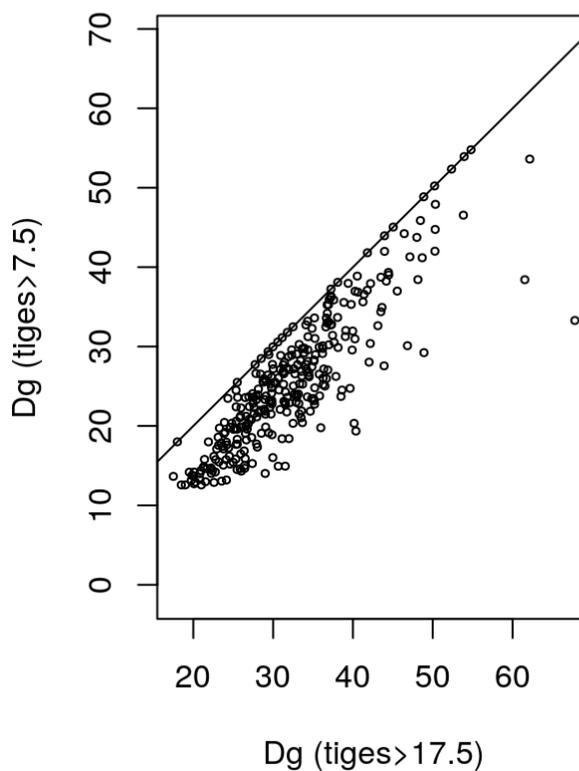
- surface terrière des arbres résineux de plus de 17.5 cm ;
- surface terrière des arbres feuillus (non résineux) de plus de 17.5 cm ;
- diamètre quadratique moyen des arbres de plus de 17.5 cm ;
- diamètre quadratique moyen des tiges de plus de 7.5 cm ;
- surface terrière des brins de taillis (7.5 à 17.5 cm) ;
- surface terrière des perches viables résineuses (7.5 à 17.5 cm) ;
- surface terrière des perches viables feuillues (7.5 à 17.5 cm) ;
- surface terrière des perches non viables (7.5 à 17.5 cm) ;
- densité des arbres de plus de 17.5 cm ;
- densité des tiges de plus de 7.5 cm.

Pour les tiges entre 7.5 et 17.5 cm de diamètre, les diamètres n'ont pas été mesurés (ou alors seulement par classe de 5 cm pour les perches viables). Un diamètre de 12.5 cm est affecté à toutes les tiges.

La surface terrière totale résineuse est obtenue en sommant le G des arbres résineux, le G des perches viables résineuses et le G des perches non viables en proportion des arbres résineux dans la surface terrière. La surface terrière totale feuillue est obtenue en sommant le G des arbres feuillus, le G des perches viables feuillues, le G des brins de taillis et le G des perches non viables en proportion des arbres feuillus dans la surface terrière.

Pour le calcul du diamètre quadratique, les tiges de 12.5 cm, inventoriées sur 10 m de rayon ont été répliquées d'un facteur 2.25 pour obtenir un nombre correspondant à une surface de 15 m de rayon.

Les graphiques montrent les valeurs des paramètres forestiers calculés avec les tiges de plus de 7.5 cm, et fonction de celles calculées avec uniquement les tiges de plus de 17.5 cm.

Surface terrière (m²/ha)**Proportion de résineux en G****Densité de tiges (/ha)****Diamètre quadratique moyen (cm)**

##	G75	G175	Dg75	Dg175
##	Min. : 0.36	Min. : 0.3403	Min. : 12.58	Min. : 17.50
##	1st Qu.: 20.15	1st Qu.: 13.7088	1st Qu.: 19.58	1st Qu.: 26.48
##	Median : 30.28	Median : 25.4007	Median : 24.40	Median : 31.29
##	Mean : 30.91	Mean : 25.9309	Mean : 25.53	Mean : 32.17
##	3rd Qu.: 39.98	3rd Qu.: 34.8141	3rd Qu.: 29.89	3rd Qu.: 36.39
##	Max. : 89.70	Max. : 89.7039	Max. : 54.79	Max. : 67.81
##	N75	N175	PropGR75	PropGR175
##	Min. : 14.15	Min. : 14.15	Min. : 0.00000	Min. : 0.00000
##	1st Qu.: 393.47	1st Qu.: 183.91	1st Qu.: 0.03092	1st Qu.: 0.01925
##	Median : 643.69	Median : 297.09	Median : 0.40309	Median : 0.45147
##	Mean : 721.66	Mean : 316.12	Mean : 0.42887	Mean : 0.45666
##	3rd Qu.: 927.52	3rd Qu.: 424.41	3rd Qu.: 0.76711	3rd Qu.: 0.82751
##	Max. : 2383.79	Max. : 848.83	Max. : 1.00000	Max. : 1.00000

2 Calibration

2.1 Chargement des nuages sur les placettes

Les nuages sont extraits des données lidar sur un rayon de 15 m autour de la position recalée du centre des placettes lorsque le recalage a été possible, sinon au point relevé par GNSS. Lorsqu'un nuage complet est disponible, l'acquisition 74 est préférée à l'acquisition 73.

2.2 Modélisation

Les métriques surfaciques sont calculées avec la fonction `lidaRtRee::ABAModelMetrics`. Des modèles sont calibrés pour les variables G75, G175, Dg75, Dg175. La variable dépendante et les métriques lidar sont préalablement transformées par logarithme. Des modèles sont calibrés pour chaque strate parmi les suivantes :

- résineux,
- mixtes,
- feuillus.

La régression linéaire d'au maximum 5 variables avec le meilleur adj-R2 est ensuite sélectionnée pour chaque variable et chaque strate. Les modèles sont sauvegardés pour application sur l'ensemble de la zone d'étude.

Le tableau ci-dessous présente les statistiques des métriques. Les graphiques suivants représentent les valeurs mesurées sur le terrain et celles prédites en validation croisée leave-one-out pour chaque variable. Les statistiques des modèles retenus figurent en dessous des graphiques.

```

##          zmax          zmean          zsd          zskew
## Min.    :10.39   Min.    : 5.188   Min.    : 1.525   Min.    :-2.45595
## 1st Qu.:23.58   1st Qu.:11.634   1st Qu.: 3.876   1st Qu.: -0.86457
## Median :28.29   Median :15.541   Median : 4.953   Median :-0.41776
## Mean    :28.00   Mean    :15.937   Mean    : 5.123   Mean    :-0.39492
## 3rd Qu.:32.43   3rd Qu.:19.627   3rd Qu.: 6.191   3rd Qu.: 0.05099
## Max.    :65.93   Max.    :31.206   Max.    :11.943   Max.    : 3.00213
##          zkurt          zentropy          pzabovemean          pzabov2
## Min.    : 1.509   Min.    :0.6262   Min.    :32.83   Min.    : 99.74
## 1st Qu.: 2.375   1st Qu.:0.8223   1st Qu.:49.94   1st Qu.: 99.97
## Median : 2.820   Median :0.8738   Median :54.13   Median :100.00
## Mean    : 3.431   Mean    :0.8615   Mean    :53.40   Mean    : 99.98
## 3rd Qu.: 4.040   3rd Qu.:0.9109   3rd Qu.:57.33   3rd Qu.:100.00
## Max.    :14.551   Max.    :0.9665   Max.    :71.39   Max.    :100.00
##          zq5          zq10          zq15          zq20
## Min.    : 2.220   Min.    : 2.430   Min.    : 2.620   Min.    : 2.850
## 1st Qu.: 3.647   1st Qu.: 4.877   1st Qu.: 5.875   1st Qu.: 6.803
## Median : 5.392   Median : 7.712   Median : 9.235   Median :10.775
## Mean    : 6.989   Mean    : 8.968   Mean    :10.403   Mean    :11.572
## 3rd Qu.: 9.118   3rd Qu.:11.965   3rd Qu.:13.880   3rd Qu.:15.562
## Max.    :20.853   Max.    :24.800   Max.    :27.060   Max.    :28.716
##          zq25          zq30          zq35          zq40
## Min.    : 3.080   Min.    : 3.320   Min.    : 3.550   Min.    : 3.748
## 1st Qu.: 7.836   1st Qu.: 8.751   1st Qu.: 9.422   1st Qu.: 9.998
## Median :12.035   Median :13.100   Median :13.833   Median :14.560
## Mean    :12.565   Mean    :13.427   Mean    :14.219   Mean    :14.954
## 3rd Qu.:16.615   3rd Qu.:17.270   3rd Qu.:18.128   3rd Qu.:19.080
## Max.    :29.530   Max.    :30.120   Max.    :30.670   Max.    :31.230
##          zq45          zq50          zq55          zq60
## Min.    : 3.97   Min.    : 4.26   Min.    : 4.72   Min.    : 5.34
## 1st Qu.:10.73   1st Qu.:11.53   1st Qu.:12.23   1st Qu.:12.85
## Median :15.36   Median :16.14   Median :16.82   Median :17.59
## Mean    :15.64   Mean    :16.31   Mean    :16.96   Mean    :17.61
## 3rd Qu.:19.76   3rd Qu.:20.50   3rd Qu.:21.18   3rd Qu.:21.89
## Max.    :31.78   Max.    :32.25   Max.    :32.67   Max.    :33.05
##          zq65          zq70          zq75          zq80
## Min.    : 5.83   Min.    : 6.08   Min.    : 6.39   Min.    : 6.67
## 1st Qu.:13.55   1st Qu.:14.19   1st Qu.:14.95   1st Qu.:15.67
## Median :18.49   Median :19.11   Median :19.71   Median :20.52
## Mean    :18.28   Mean    :18.94   Mean    :19.63   Mean    :20.38
## 3rd Qu.:22.83   3rd Qu.:23.43   3rd Qu.:24.15   3rd Qu.:24.80
## Max.    :33.48   Max.    :34.00   Max.    :34.51   Max.    :35.06
##          zq85          zq90          zq95          zpcum1
## Min.    : 7.18   Min.    : 7.922   Min.    : 8.528   Min.    : 0.00000
## 1st Qu.:16.50   1st Qu.:17.908   1st Qu.:19.033   1st Qu.: 0.09243
## Median :21.15   Median :22.224   Median :23.584   Median : 0.51425
## Mean    :21.23   Mean    :22.220   Mean    :23.550   Mean    : 1.43841
## 3rd Qu.:25.73   3rd Qu.:26.876   3rd Qu.:27.900   3rd Qu.: 1.86192
## Max.    :35.64   Max.    :36.367   Max.    :37.514   Max.    :20.58529
##          zpcum2          zpcum3          zpcum4          zpcum5
## Min.    : 0.03629   Min.    : 0.1452   Min.    : 0.3448   Min.    : 0.6937
## 1st Qu.: 1.51548   1st Qu.: 4.2403   1st Qu.: 8.7059   1st Qu.:16.7176
## Median : 4.49343   Median :10.4853   Median :19.3394   Median :32.6818
## Mean    : 7.96533   Mean    :15.4833   Mean    :24.2708   Mean    :35.3043

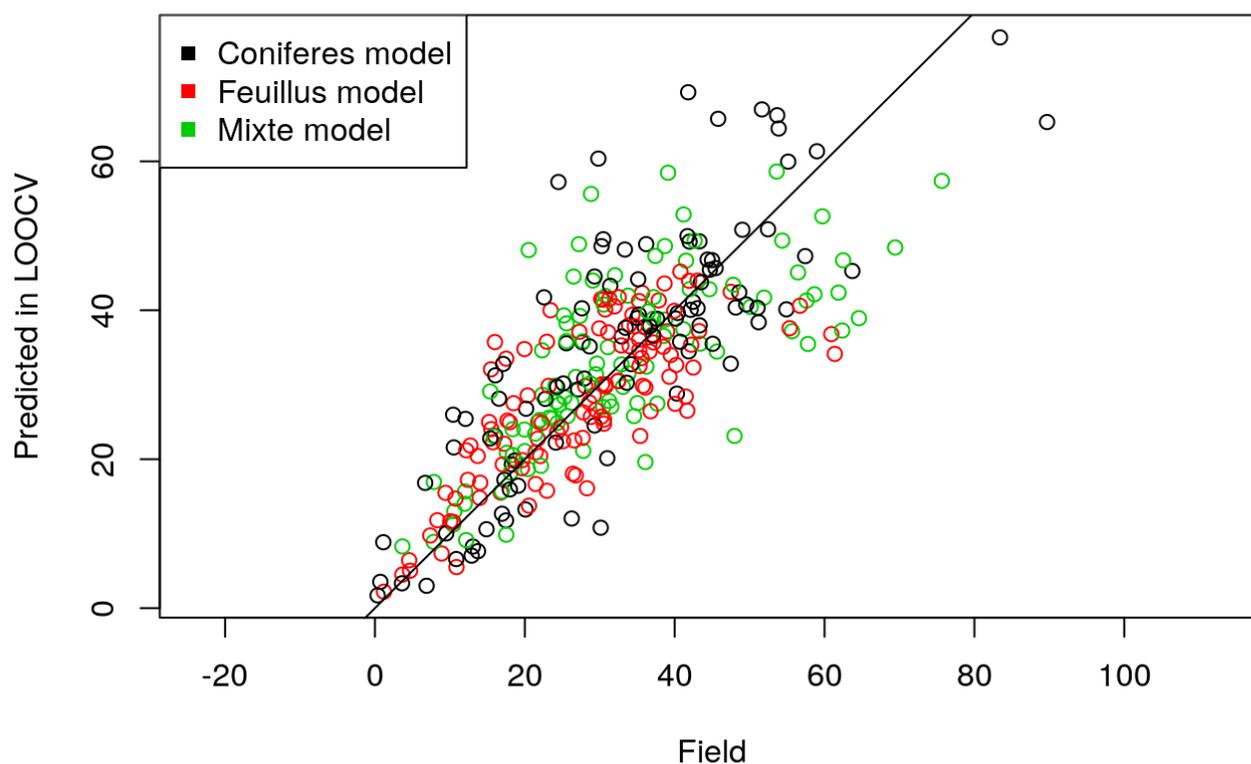
```

```

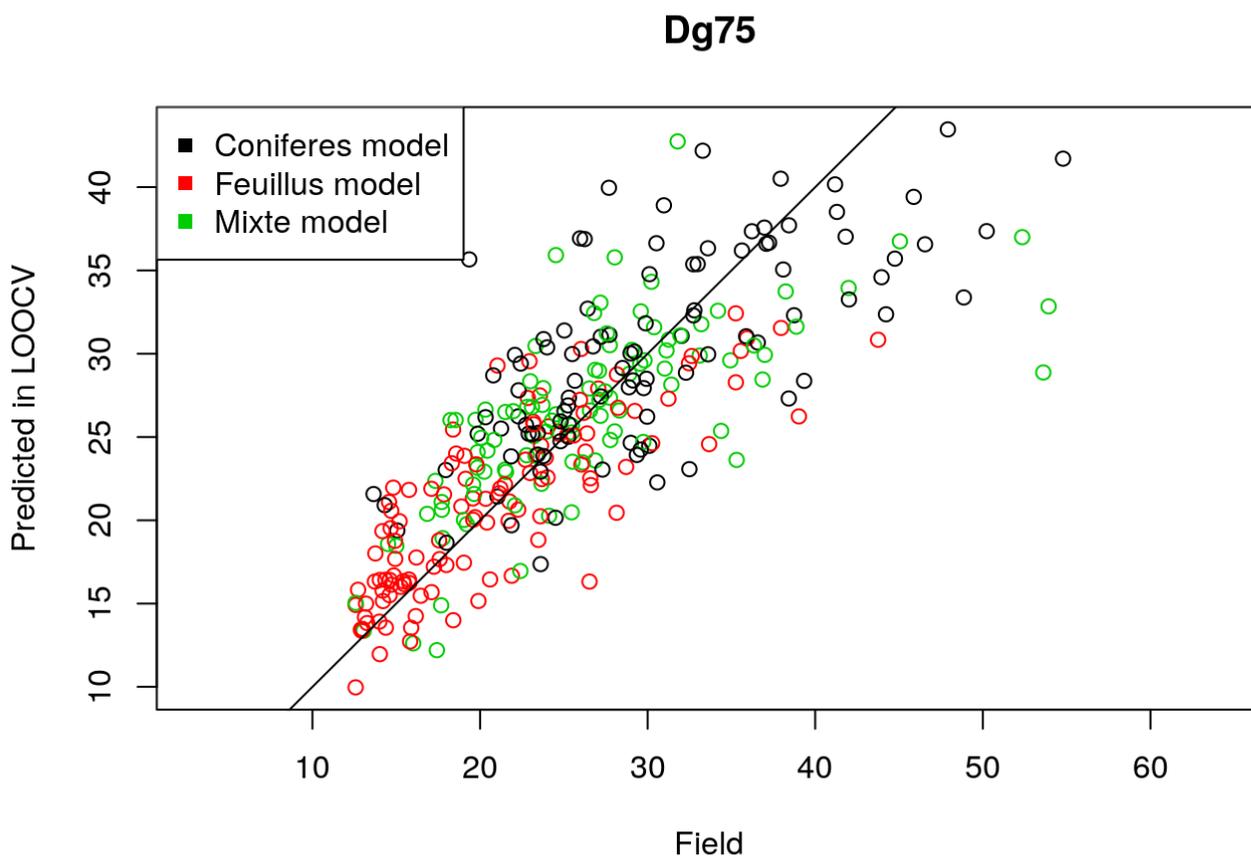
## 3rd Qu.:10.10959 3rd Qu.:20.9930 3rd Qu.:35.2366 3rd Qu.:52.0234
## Max. :70.91602 Max. :91.1606 Max. :94.4879 Max. :96.0112
## zpcum6 zpcum7 zpcum8 zpcum9
## Min. : 2.74 Min. : 9.92 Min. :30.97 Min. : 73.74
## 1st Qu.:30.63 1st Qu.:54.26 1st Qu.:80.74 1st Qu.: 96.20
## Median :50.13 Median :72.27 Median :89.08 Median : 98.13
## Mean :49.86 Mean :67.48 Mean :85.31 Mean : 97.00
## 3rd Qu.:69.34 3rd Qu.:84.97 3rd Qu.:94.71 3rd Qu.: 99.00
## Max. :97.19 Max. :98.04 Max. :99.38 Max. :100.00
## itot imax imean
## Min. : 9222 Min. : 34 Min. : 12.43
## 1st Qu.: 88180 1st Qu.: 62 1st Qu.: 24.67
## Median : 163056 Median : 63 Median : 29.70
## Mean : 250852867 Mean :19535 Mean :11936.85
## 3rd Qu.: 524639428 3rd Qu.:46906 3rd Qu.:28359.60
## Max. :1415893675 Max. :48495 Max. :33124.61
## isd iskev ikurt ipcumzq10
## Min. : 5.79 Min. :-0.78803 Min. :1.474 Min. : 2.920
## 1st Qu.: 12.97 1st Qu.: -0.30368 1st Qu.:2.046 1st Qu.: 7.008
## Median : 16.54 Median :-0.07275 Median :2.143 Median : 8.327
## Mean : 4067.10 Mean :-0.03106 Mean :2.209 Mean : 8.277
## 3rd Qu.: 9557.50 3rd Qu.: 0.22286 3rd Qu.:2.350 3rd Qu.: 9.486
## Max. :11821.99 Max. : 1.08549 Max. :3.852 Max. :16.124
## ipcumzq30 ipcumzq50 ipcumzq70 ipcumzq90
## Min. :18.69 Min. :39.05 Min. :61.68 Min. :86.03
## 1st Qu.:24.84 1st Qu.:44.86 1st Qu.:66.16 1st Qu.:88.45
## Median :26.45 Median :46.65 Median :67.44 Median :89.01
## Mean :26.79 Mean :46.86 Mean :67.74 Mean :89.15
## 3rd Qu.:28.70 3rd Qu.:48.53 3rd Qu.:68.98 3rd Qu.:89.68
## Max. :39.75 Max. :61.12 Max. :79.78 Max. :93.59
## mCH sdCH ntot p.1st.hmin
## Min. : 5.316 Min. : 1.139 Min. : 952 Min. :0.2033
## 1st Qu.:12.432 1st Qu.: 3.103 1st Qu.: 4405 1st Qu.:0.9080
## Median :17.164 Median : 4.360 Median : 7414 Median :0.9807
## Mean :17.229 Mean : 4.633 Mean :12930 Mean :0.9187
## 3rd Qu.:21.266 3rd Qu.: 5.896 3rd Qu.:20578 3rd Qu.:0.9972
## Max. :32.620 Max. :12.065 Max. :52994 Max. :1.0000
## p.hmin
## Min. :0.2040
## 1st Qu.:0.8037
## Median :0.8866
## Mean :0.8448
## 3rd Qu.:0.9363
## Max. :0.9982

```

G75

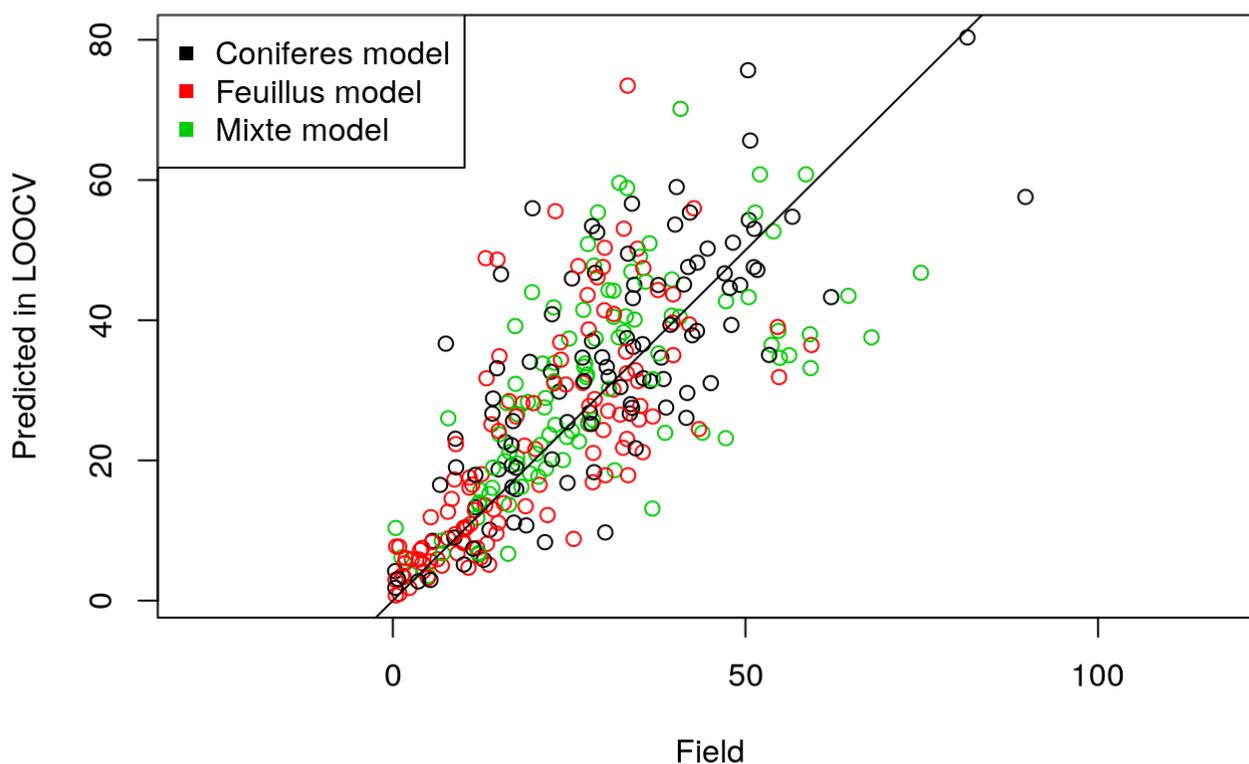


##	n	formula	adjR2	transform
## Feuillus	116	zq40 + zq95 + ikurt + p.1st.hmin	0.7782642	log
## Coniferes	101	zentropy + zpcum4 + ipcumzq90 + p.hmin	0.7684186	log
## Mixte	99	zq40 + ikurt + ntot + p.hmin	0.6819352	log
## COMBINED	316	<NA>	NA	<NA>
##	rmse	cvmse	looR2	
## Feuillus	7.909774	0.2859948	0.5661608	
## Coniferes	10.473296	0.3220682	0.6037270	
## Mixte	10.660841	0.3223446	0.4930929	
## COMBINED	9.676389	0.3130737	0.5701593	



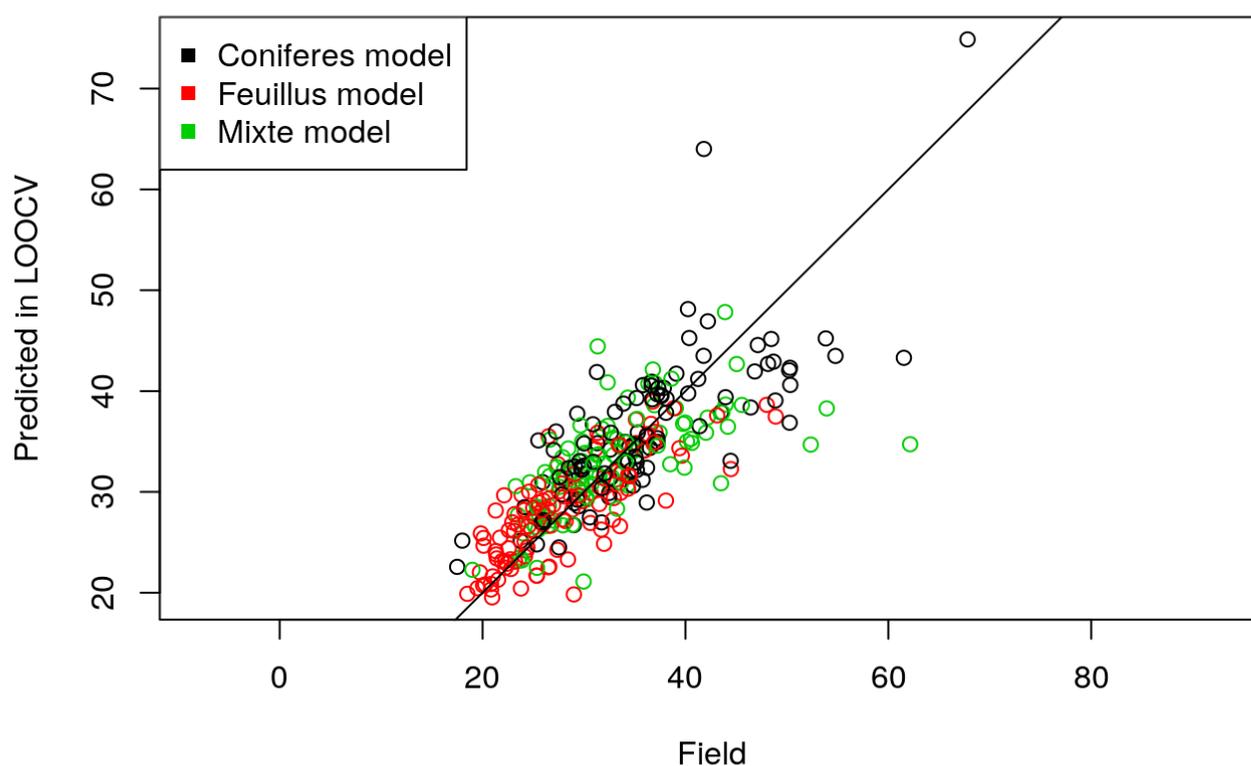
##	n	formula	adjR2	transform
## Feuillus	116	pzabove2 + zq75 + zpcum8 + p.hmin	0.6910856	log
## Coniferes	101	zpcum6 + ipcumzq90 + sdCH + ntot	0.5235693	log
## Mixte	99	pzabovezmean + zq95 + ikurt + p.1st.hmin	0.6048108	log
## COMBINED	316	<NA>	NA	<NA>
##	rmse	cvmse	looR2	
## Feuillus	3.904224	0.1863006	0.6618647	
## Coniferes	5.900570	0.1969817	0.4948498	
## Mixte	5.635998	0.2135684	0.4926179	
## COMBINED	5.164802	0.2022655	0.6313480	

G175



##	n	formula	adjR2	transform
## Feuillus	116	pzabove2 + zq70 + ipcumzq10 + p.1st.hmin	0.7015384	log
## Coniferes	101	zmax + zq85 + p.hmin	0.7215437	log
## Mixte	99	zkurt + pzabovezmean + zq45 + p.hmin	0.6057132	log
## COMBINED	316	<NA>	NA	<NA>
##	rmse	cvmse	looR2	
## Feuillus	11.11626	0.5569536	0.3087270	
## Coniferes	11.79791	0.3940623	0.4860337	
## Mixte	12.62722	0.4378512	0.3353410	
## COMBINED	11.82383	0.4559740	0.4367583	

Dg175



```
##          n          formula      adjR2 transform
## Feuillus 116 zq65 + zpcum5 + ipcumzq10 + ipcumzq70 0.6517527      log
## Coniferes 101          zq55 + zq85 + ipcumzq90 0.6440193      log
## Mixte     99  pzabovezmean + zq35 + zpcum9 + sdCH 0.5167326      log
## COMBINED 316          <NA>          NA      <NA>
##          rmse      cvrmse      looR2
## Feuillus 3.822545 0.1350944 0.6377670
## Coniferes 5.587377 0.1554815 0.5697443
## Mixte     5.541651 0.1686132 0.4039717
## COMBINED 4.996312 0.1553125 0.6119931
```

3 Cartographie

3.1 Cartographie des métriques pour chaque acquisition

Les métriques sont calculées indépendamment pour chaque acquisition (73 et 74). Afin d'éviter les effets de bords dus aux dalles mal taillées (points en bordure), pour chaque dalle les bordures théoriques sont recalculées et seuls les points qui y sont contenus sont chargés. Les dalles doivent être normalisées. Les points des classes 0 à 5 sont retenus, la classe sol étant 2. Les points de hauteur supérieure à 60 m sont supprimés.

Le traitement de chaque dalle renvoie un raster multibande. L'utilisation de la commande "raster::merge" sur l'ensemble des rasters génère aléatoirement des bandes sans donnée dans le raster final, sans que l'origine du problème n'ait pu être identifiée. Pour éviter ces artefacts, les rasters sont récursivement

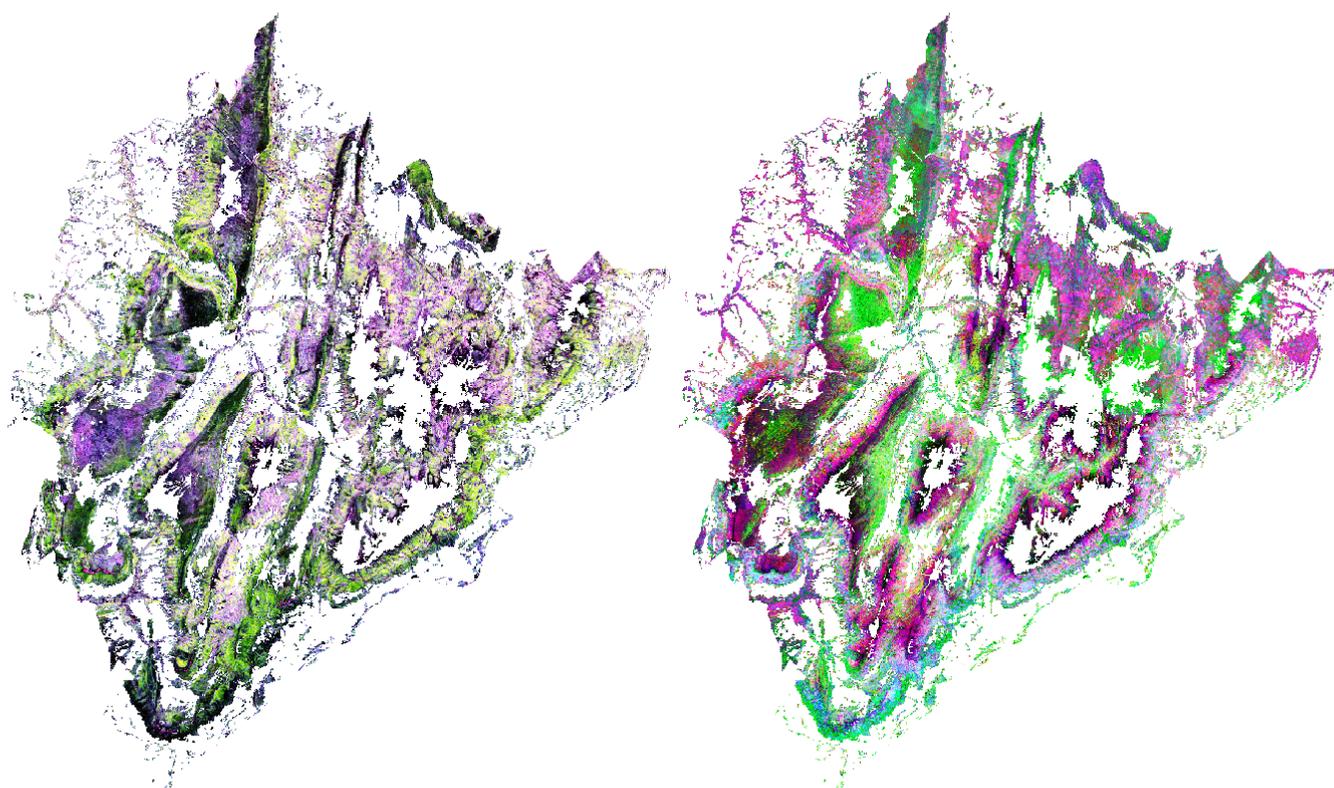
agrégés par quatre pour réduire leur nombre à moins de 500, puis ils sont écrits dans un répertoire. Ensuite la commande `gdal_merge` est utilisée pour les assembler.

3.2 Mosaïque des métriques

Les métriques obtenues pour chaque acquisition sont fusionnées selon les règles suivantes :

- le raster de l'acquisition 74 est découpé par l'emprise livrable, afin d'enlever la zone tampon où pourraient exister des pixels de bord,
- les rasters 73 et 74 sont fusionnés avec priorité dans les zones de recouvrement à la donnée 74.

Le masque de la BD forêt est appliqué au raster final. Les cartes suivantes présentent en fausses couleurs les métriques sur le domaine d'étude, bandes "zmax", "zmean" et "zsd" pour la première, et "zq40", "ikurt", "p.hmin" (métriques présentes dans les modèles de surface terrière) pour la seconde.

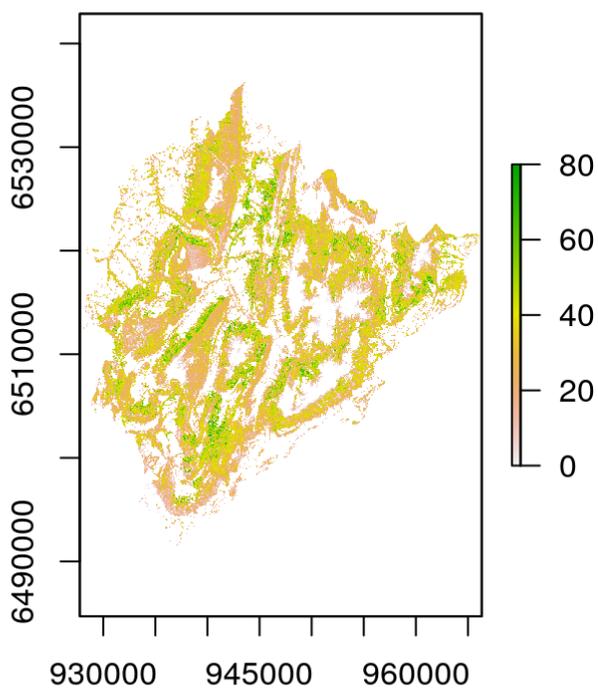
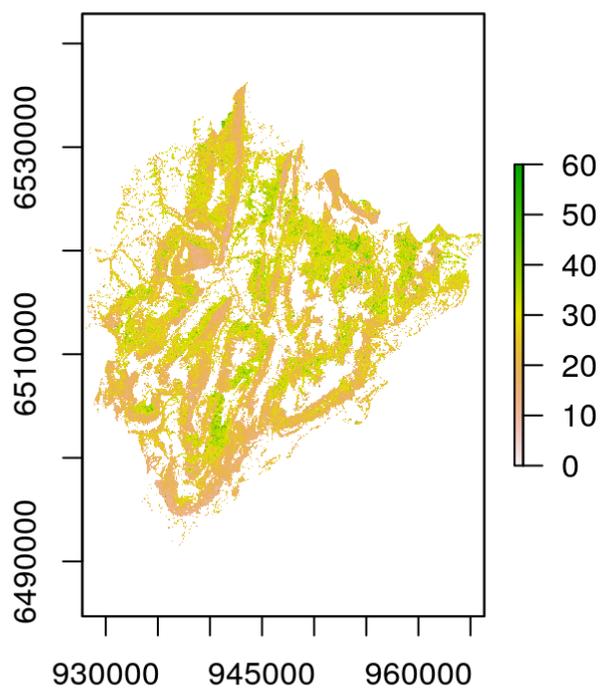
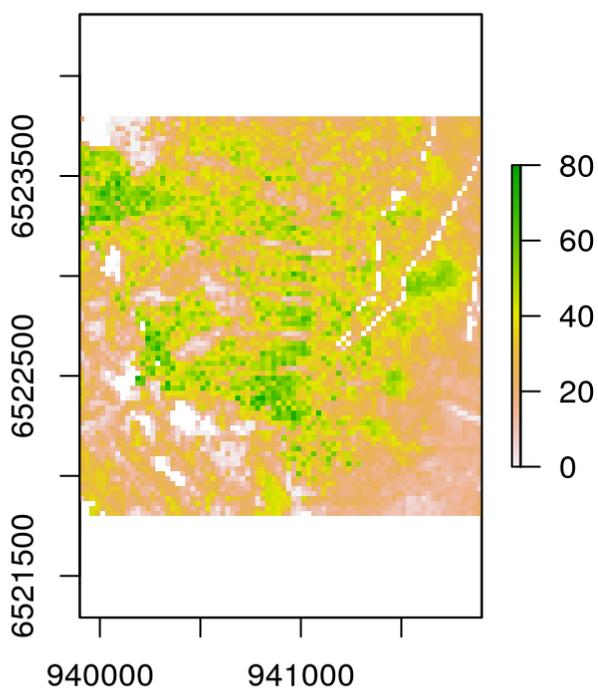
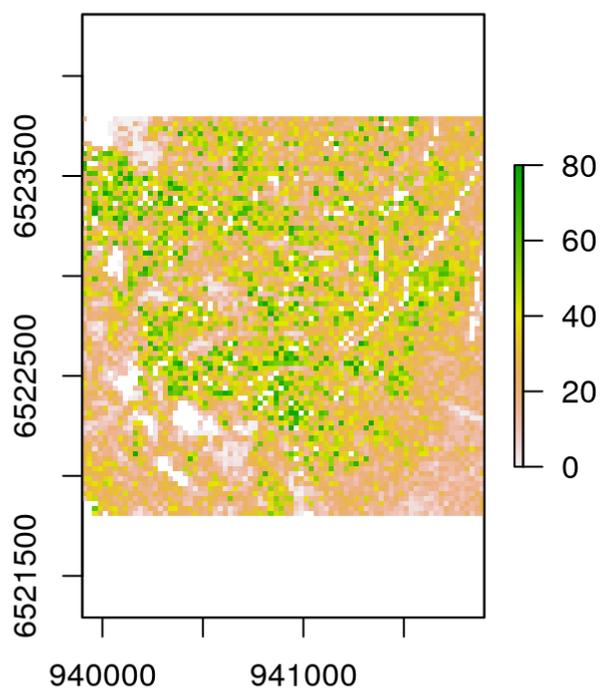


3.3 Cartographie des variables par application des modèles

Les modèles sont appliqués aux métriques de l'ensemble de la zone, selon la stratification. Deux cartes sont générées pour chaque variable (G75 et Dg75), l'une avec la prédiction, l'autre avec la prédiction à laquelle est ajoutée à chaque pixel un résidu tiré au sort selon une loi normale $N(0, \sigma)$ où σ est l'écart-type des résidus.

Dans les deux cas, les valeurs sont ensuite seuillées pour éviter la présence de valeurs aberrantes (0-120 pour G), (0-80 pour Dg). Des valeurs (+Inf) présentes sont remplacées par 0. Les pixels sans prédiction (NA) sont remplis par des 0. Les pixels hors domaine d'étude sont remplis par des NA.

Les cartes pour les variables surface terrière et diamètre quadratique moyen (arbres de plus de 7.5 cm) sont présentées ci-dessous. Un zoom sur une zone de 2 x 2 km² permet ensuite d'apprécier les différences entre les prédictions moyennes ou avec erreur aléatoire.

Surface terrière (m²/ha)**Diamètre quadratique moyen (cm)****G, prédiction moyenne****G, prédiction plus erreur aléatoire**

3.4 Cartographie de la proportion des résineux en surface terrière par modification de la couche ONF

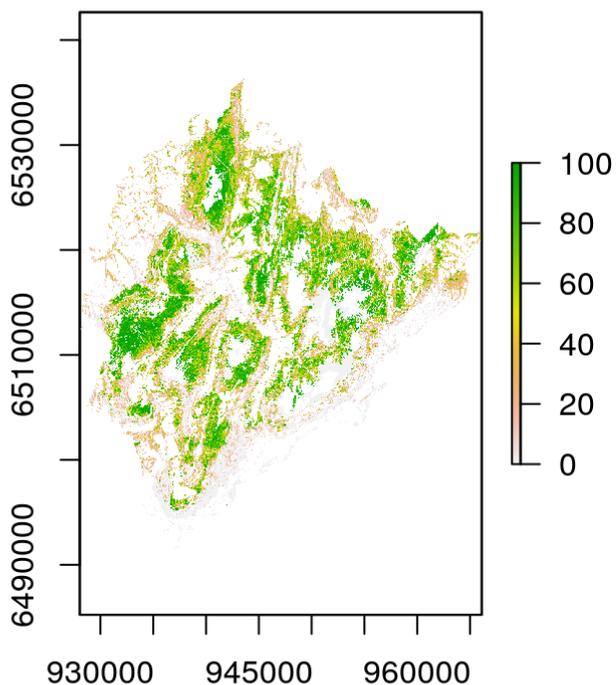
La méthode surfacique employée étant peu performante pour cette variable, on utilise la carte modélisée par l'ONF qui est le pourcentage de résineux dans la surface terrière, à résolution 26,5 m.

Tout d'abord il s'agit de compléter les zones du domaine d'étude pour lesquelles aucune valeur n'a été prédite. Pour cela la distribution des valeurs prédites dans chaque catégorie de la BD Forêt (champ TFV_G11) est extraite de la carte des prédictions.

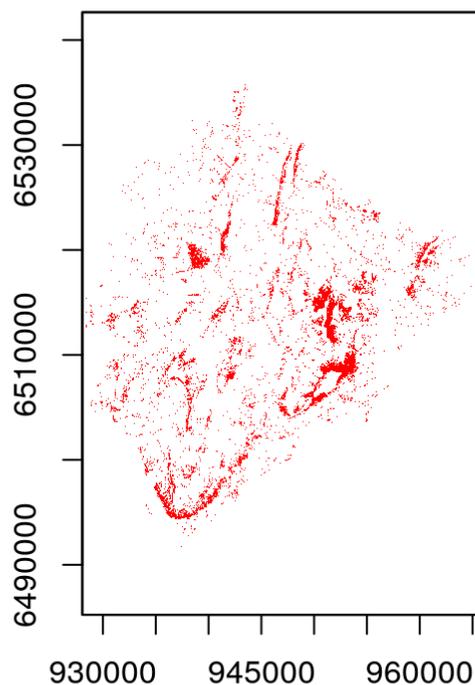
La valeur pour les pixels sans prédiction (car présents dans la zone "filtre carto" exclue des prédictions) est tirée au sort dans la distribution de la catégorie à laquelle ils appartiennent. La carte est ensuite rééchantillonnée à 25 m par interpolation linéaire.

La valeur pour les pixels restant sans prédiction (bordure différente entre les résolutions 25 et 26,5 lors de la rasterisation de la BD Forêt) est tirée au sort dans la distribution de la catégorie à laquelle il appartient.

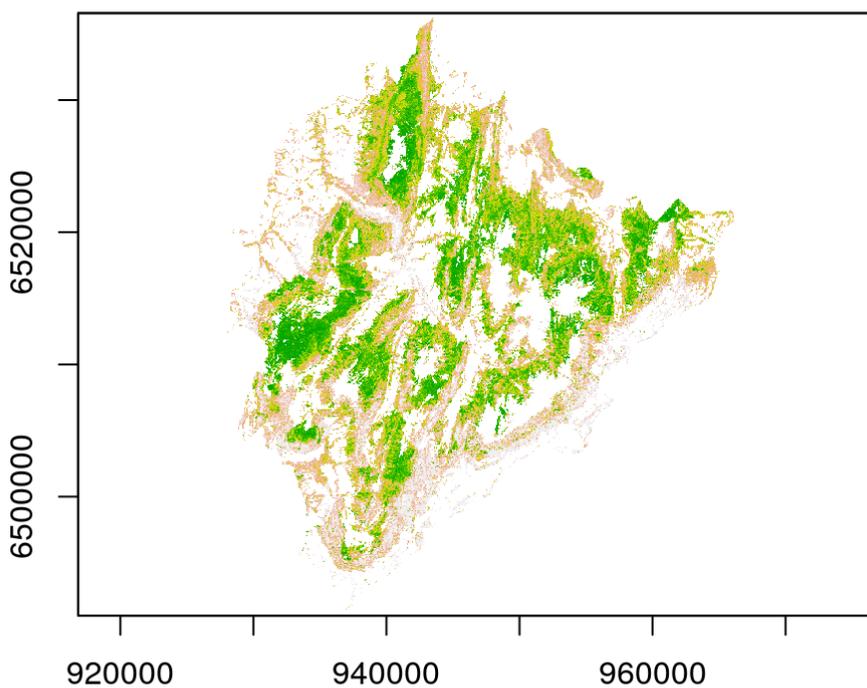
Prédiction ONF @26.5m



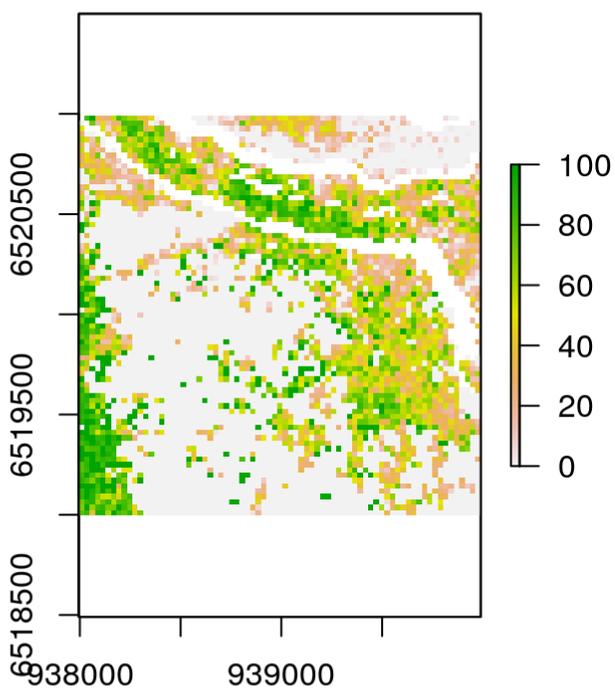
Zone hors modèle ONF @26.5m



Prédiction complétée @25m



Prédiction ONF @26.5m



Prédiction complétée @25m

