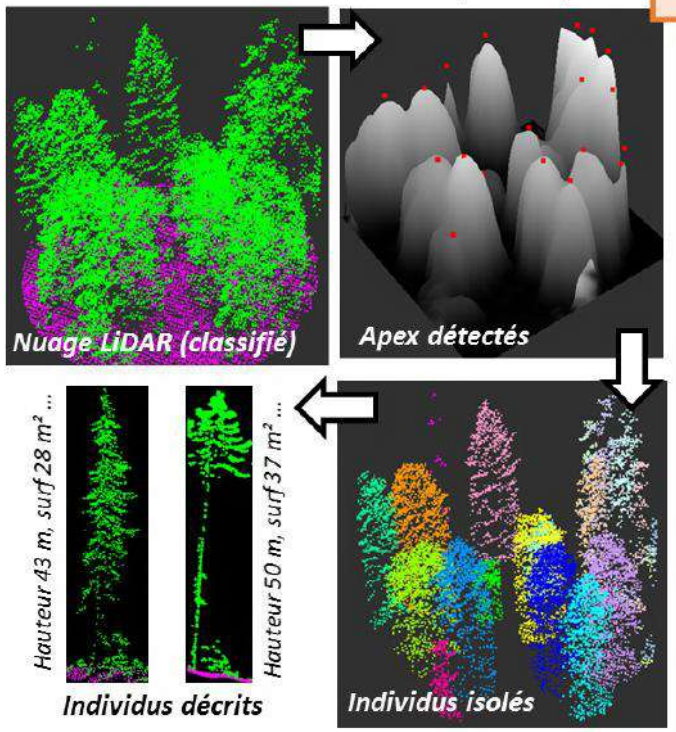
Valorisation des nuages de points Lidar pour la dendrométrie

Agence Montagnes d'Auvergne
Service Aménagement

- **méthode**
  - schéma général
  - focus sur :
    - La segmentation du nuage de point
    - Les placettes de calibration terrain
    - L'élaboration des modèles statistiques
    - L'évaluation des modèles statistiques
- **résultats**
  - Illustration par quelques cartes : Ho, G, Do, Dg, GGB, %GGB, N, typo, trouées …
  - exemple d'utilisation en préparation d'opération sylvicole
  - exemple d'utilisation pour l'élaboration des aménagements forestiers
- **intérêts, limites vis-à-vis des méthodes classiques**
  - cartographie
  - erreurs connues
  - des compartiments non accessibles
  - des notions plus techniques et complexes
  - de l'approche par forêt à l'approche par territoire
  - monitoring et suivi en continu de la ressource (mise à jour par photogrammétrie)
- **autres valorisations du sursol à caractère expérimental**
  - DFCI : Volume de combustible et continuité
  - SDM : Modèles de Distribution Spatiale d'espèces
  - IMAT : indice de maturité structurale des peuplements
  - connectivité

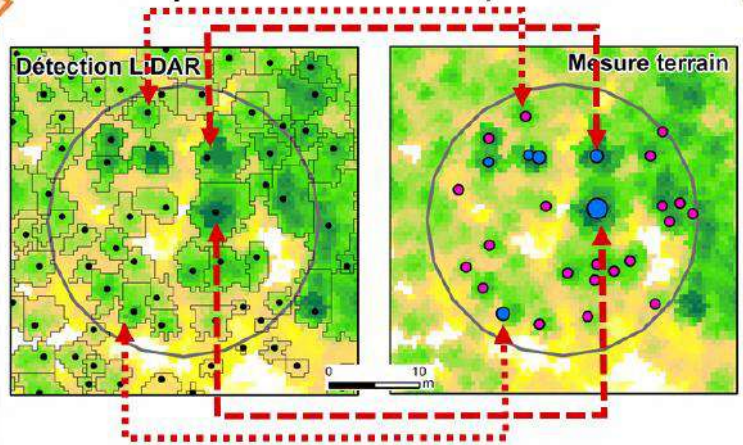
Méthode– schéma général

1. Détection des individus (SEGMA)



SEGMA (B. ST-ONGE) dans Computree (http://computree.onf.fr) permet de délimiter les apex et enveloppes présumés des arbres à partir d'un MNH LiDAR. Chaque individu détecté est décrit (hauteur, surface, volume et forme de couronne).

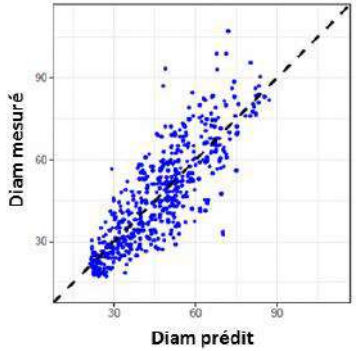
2. Correspondance arbre terrain / détection LiDAR



Correspondance entre arbre terrain positionné ↔ détection LiDAR.
1 jeu de données d'apprentissage contenant pour chaque individu :

- *les informations terrain (essence, diamètre ...)*
- *et LiDAR (hauteur, surface, volume et forme de couronne).*

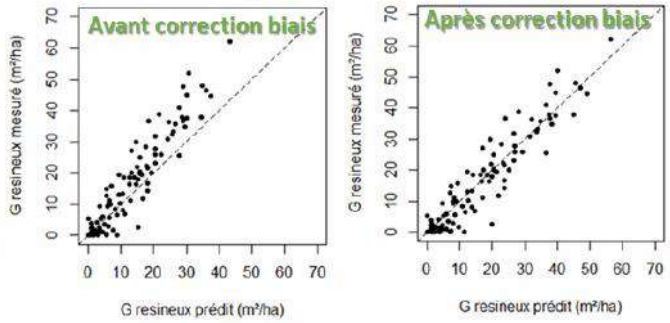
3. Prédiction de la famille d'essence, du diamètre / individu



		Prédit			Bonne prédiction
		Sapin	Pin	Feuil	
Mesurée	Sapin	63	11	7	78%
	Pin	16	59	6	73%
	Feuil	11	4	66	81%
Prédiction globale					***77%***

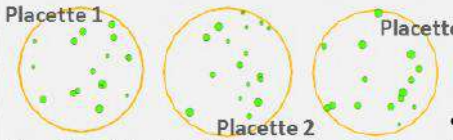
- *Modèles prédiction / individu (arbre) : famille d'essence, diamètre et/ou volume.*
- *Calibrés à partir de l'échantillon apparié (2) : méthode statistique des forêts aléatoires.*
- *Variables explicatives : hauteur, surface, volume et forme de couronne LiDAR ...*

4. Estimation des paramètres forestiers /placette



- *Données individu ≠ inventaire en plein (erreurs de détection et de prédiction).*
- *Calcul à la placette = somme ou moy des caractéristiques apex /placette + **correction du biais !** (application d'une régression linéaire référence terrain / LiDAR).*

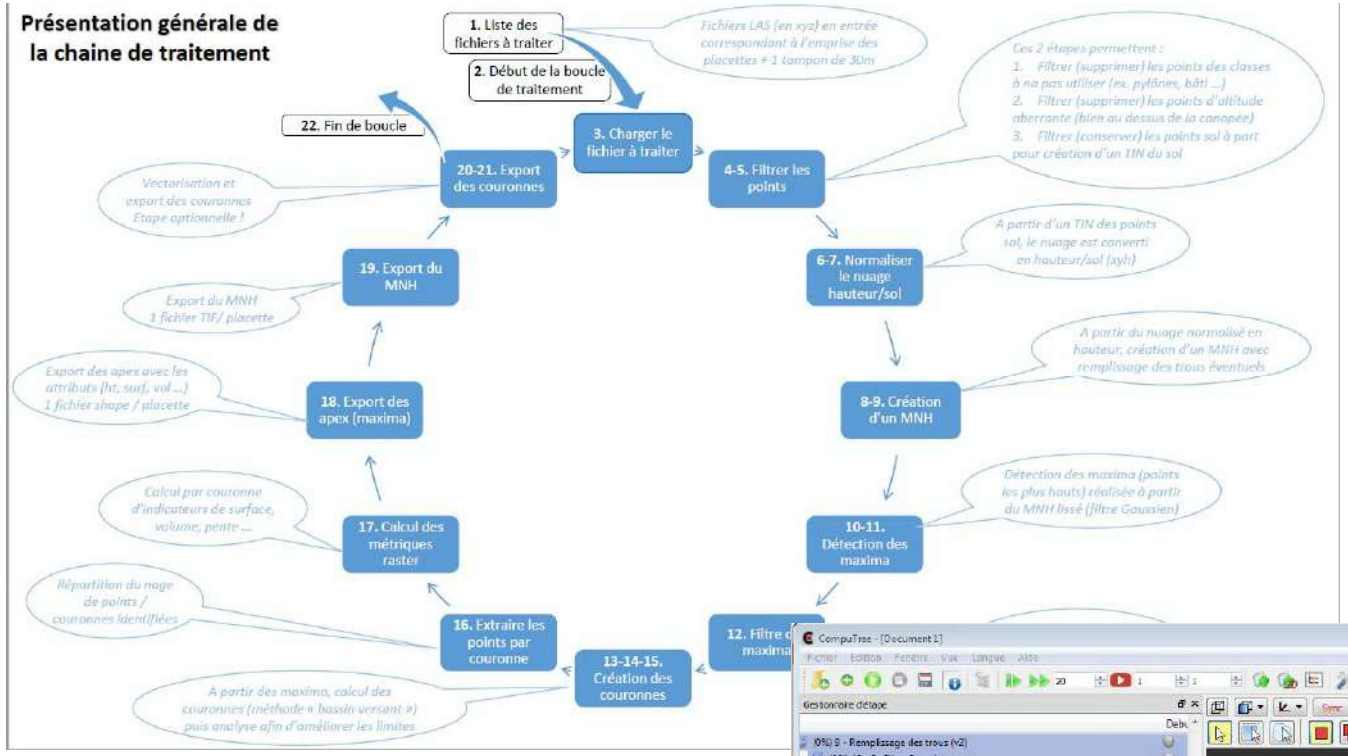
Placettes de référence terrain



Placettes (et arbres) inventoriés sur le terrain

Lidar – présentation de la méthode

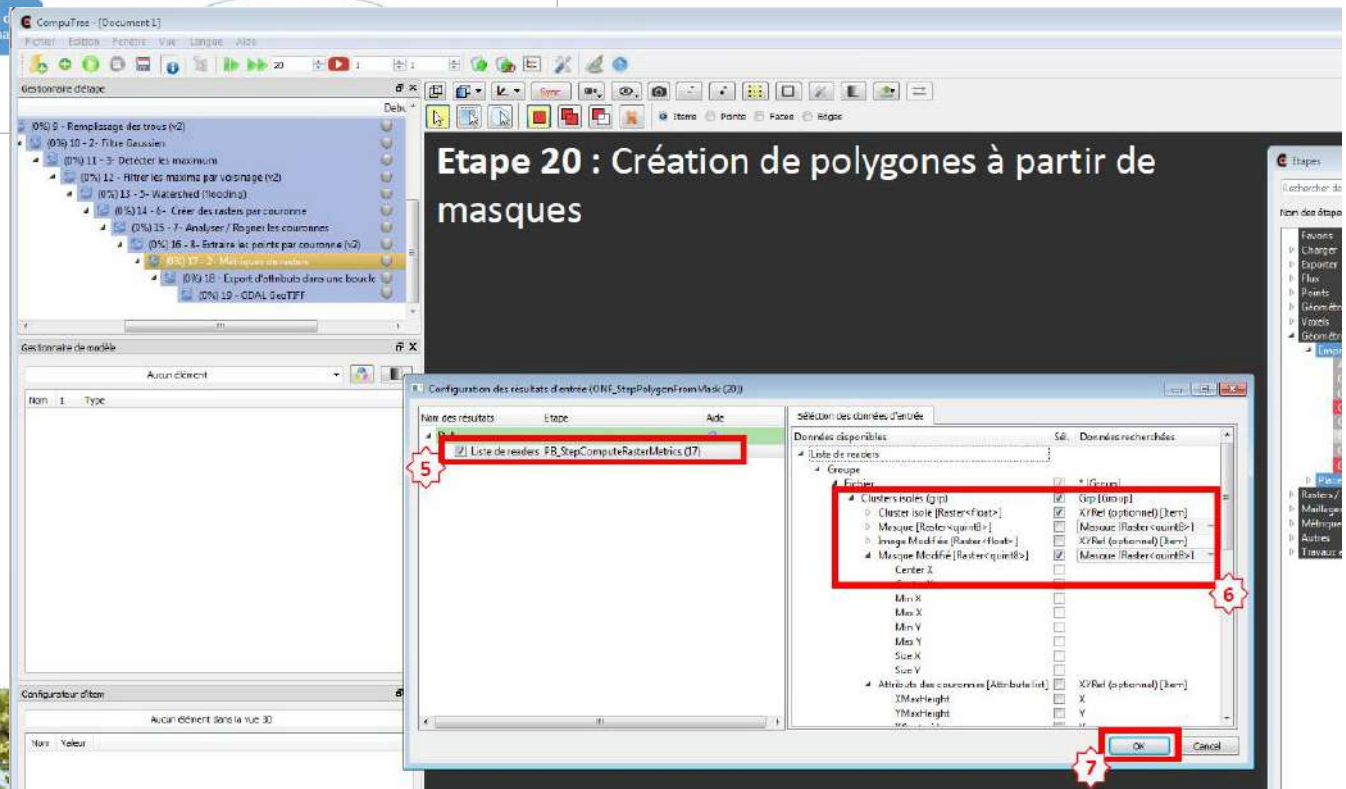
focus sur la segmentation du nuage de points



Computree :

- logiciel opensource,
- en C,
- développé en collaboration entre ENSAM et ONF,
- orienté traitement forestier des nuages Lidar aérien et terrestre, sol et sursol

- « Script » en 22 étapes
- Interface sous forme d'enchainement de boîtes à paramétrer (style « Model-Builder » d'Arcgis)
- (pas de ligne de commande)



Focus sur les placettes de calibration terrain

Positionnement précis du centre de placette
- pour recalage sur nuage de points
- GPS métrique

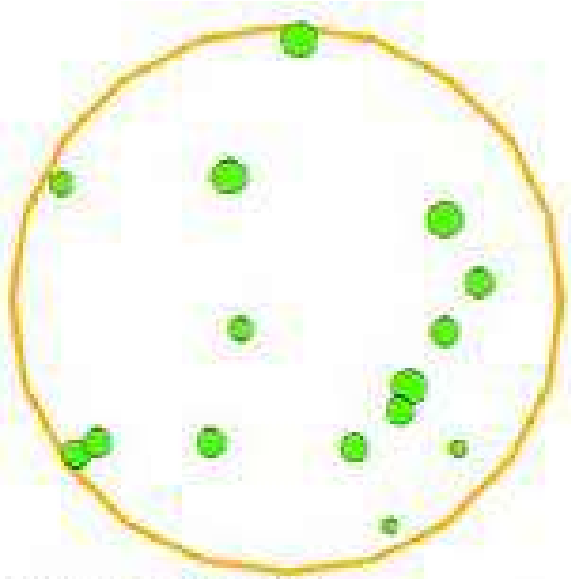
Positionnement précis des arbres
- Pour appariement avec individus segmentés dans le nuage de points
- Azimut
- Distance horizontale (vertex : ultrasons)

Qualification des arbres :
- Essence
- diamètre

(+ d'éventuelles mesures complémentaires pour analyse statistique traditionnelle)

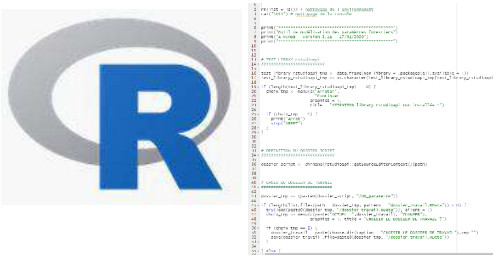
Calcul des références pour la modélisation
- Apprentissage à l'arbre
- Dendrométries à la placette

(pour correction de biais à l'échelle placette - pixel)

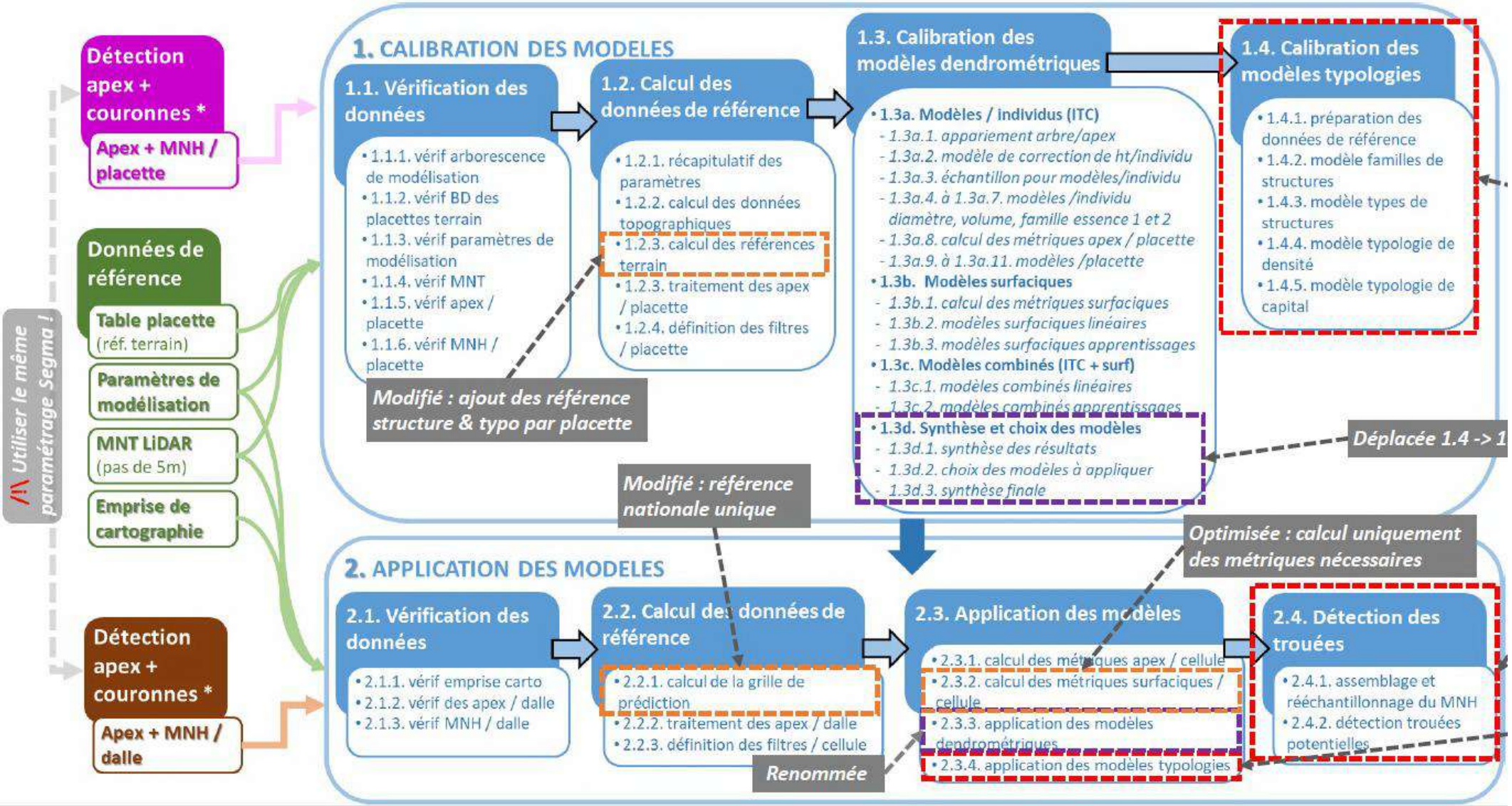


Focus sur l'élaboration des modèles

Sous



- 1 ligne 1 étape 1 script
- validation indépendante des modèles
- rapports d'étape pour analyse, qualifier erreurs de modél, …
- application des modèles sur l'ensemble de la zone d'étude



Lidar – présentation de la méthode

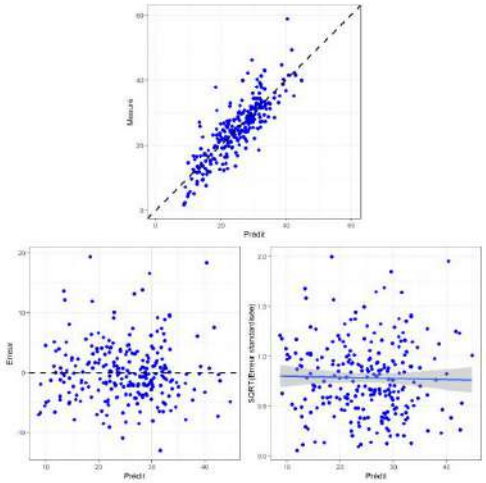
Erreurs du modèle

EQM	R^2
4,97 (20%)	70%

Note

- *EQM : erreur quadratique moyenne*
- *R^2 : coefficient de détermination*

Graphiques du prédit / mesuré



Focus sur l'évaluation des modèles

Modèles emboités :

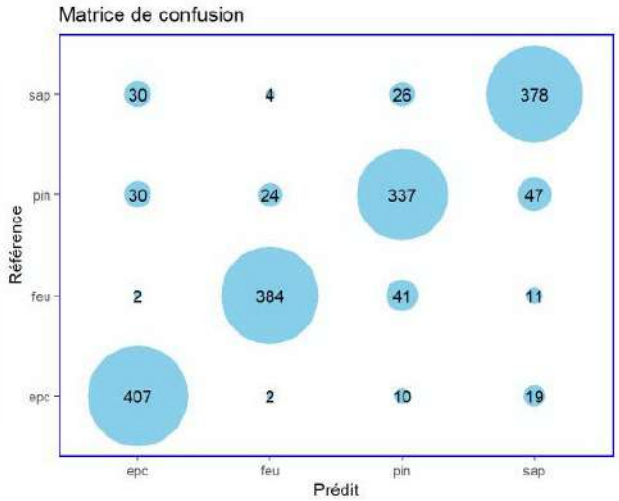
- randomForest pour le prédiction de diamètre
- Puis linéaire pour la correction de biais à l'échelle placette

Exemples de rapport pour :

- Quantification erreur
- Identification des biais prédit / mesuré
  - Globaux
  - Par contexte

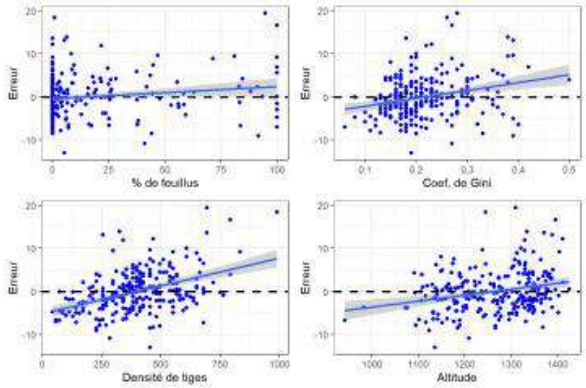
Erreur en apprentissage (OOB)

** OOB = out of bag (similaire à la validation croisée)*



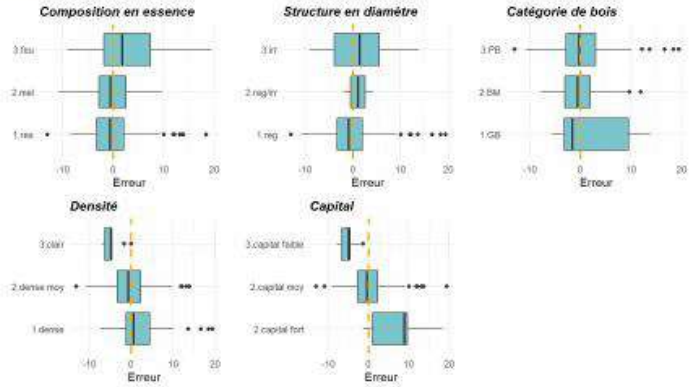
Précision	Kappa
86%	81%

Résidus / paramètres forestiers

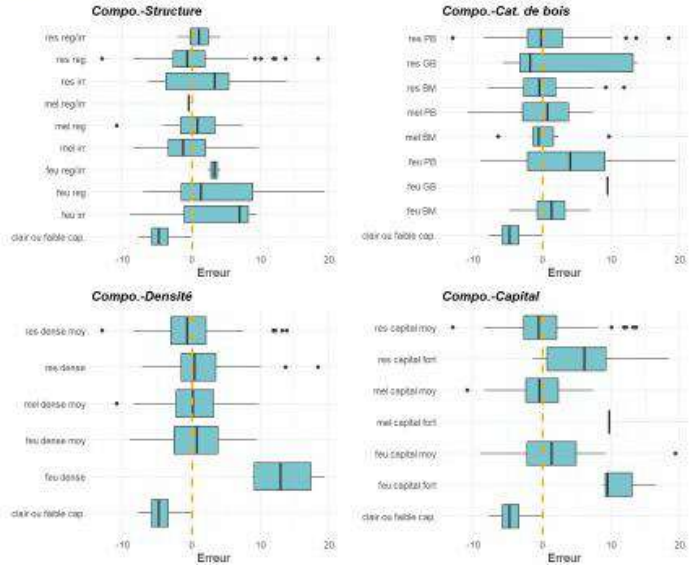


Résidus / types de peuplements génériques

Types simples



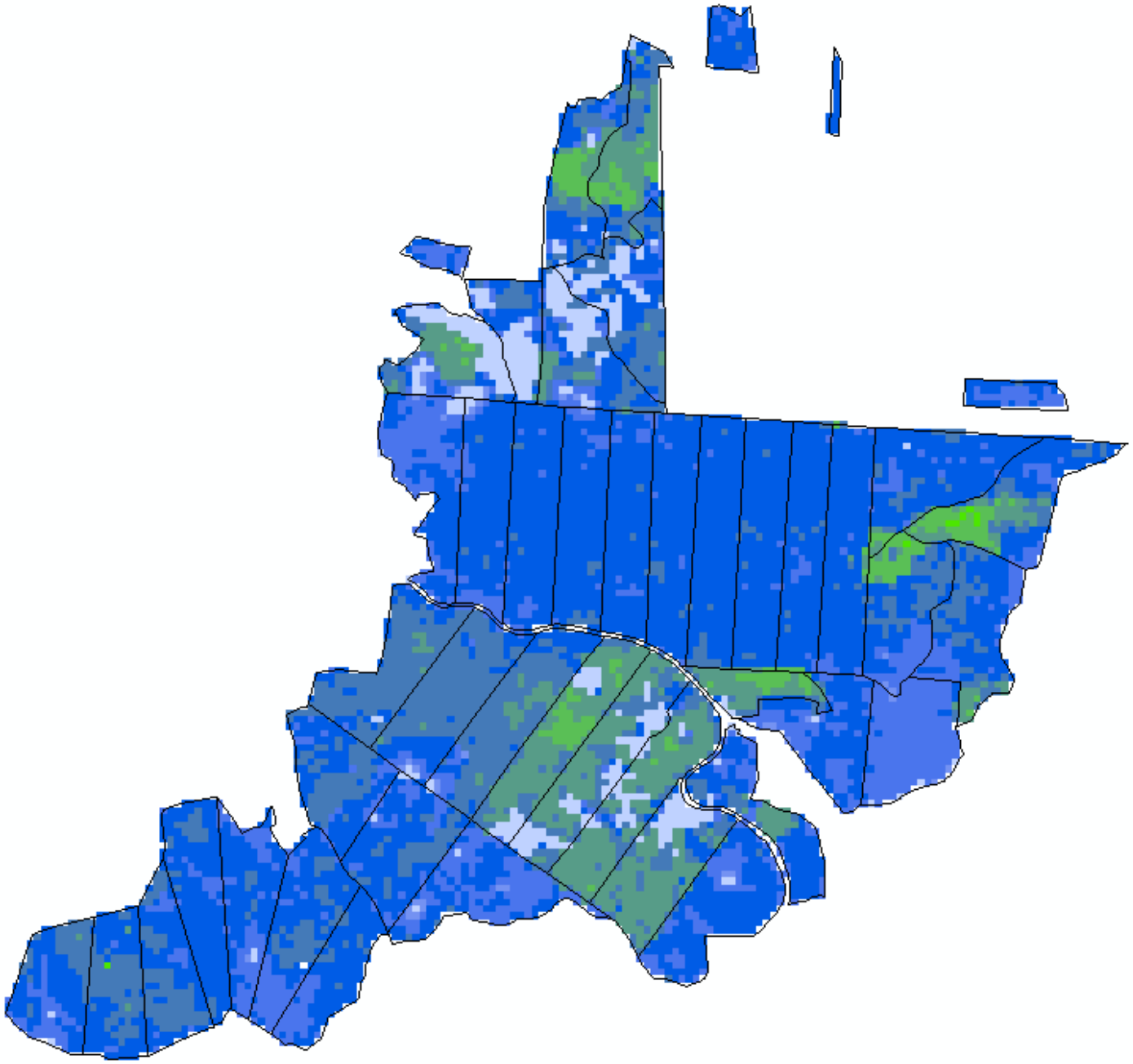
Types composés



Liste des couches géographiques produites

VARIABLE	LIBELLE	UNITE	OBSERVATION
G	surf. terrière	(m²/ha)	valeurs en continu
H0	ht. dominante	(m)	valeurs en continu
Dg	diam. quadratique moy.	(cm)	valeurs en continu
N	densité	(t/ha)	valeurs en continu
GGB	surf. terrière GB	(m²/ha)	valeurs en continu
V	volume	(m3/ha)	valeurs en continu
D0	diam. dominant 100/ha	(cm)	valeurs en continu
D50	diam. dominant 50/ha	(cm)	valeurs en continu
D70	diam. dominant 70/ha	(cm)	valeurs en continu
Gini	coef. de gini	(de 0 à 1)	valeurs en continu
p100GGB	% de gros bois	(% de G)	valeurs en continu
p100GF	% de feuillus	(% de G)	valeurs en continu
p100GR	% de résineux	(% de G)	valeurs en continu
p100GP	% de pins	(% de G)	valeurs en continu
p100Gfeu	% de feuillus	(% de G)	valeurs en continu
p100Gepi	% d'épicéas	(% de G)	valeurs en continu
p100Gsap	% de sapins	(% de G)	valeurs en continu
p100Gpin	% de pins	(% de G)	valeurs en continu
p100Gmel	% de mélèzes	(% de G)	valeurs en continu
p100Grdiv	% de résineux divers	(% de G)	valeurs en continu
H0_lidar	ht. dominante brute (non calibré)	(m)	valeurs en continu
GF	surf. terrière feuillus	(m²/ha)	valeurs en continu
GR	surf. terrière résineux	(m²/ha)	valeurs en continu
GP	surf. terrière pins	(m²/ha)	valeurs en continu
Gfeu	surf. terrière feuillus	(m²/ha)	valeurs en continu
Gepi	surf. terrière épicéas	(m²/ha)	valeurs en continu
Gsap	surf. terrière sapins	(m²/ha)	valeurs en continu
Gpin	surf. terrière pins	(m²/ha)	valeurs en continu
Gmel	surf. terrière mélèzes	(m²/ha)	valeurs en continu
Grdiv	surf. terrière résineux divers	(m²/ha)	valeurs en continu
Tx_couv	taux de couvert	(%)	valeurs en continu
DgR	diam. quad. moy. résineux	(cm)	valeurs en continu
Compo1	composition en familles d'essence 1	(classes)	0 = non précomptable, 1 = feuillus, 2 = résineux , 3 = mélange
Compo2	composition en familles d'essence 2	(classes)	0 = non précomptable, 10 = feuillus, 21 = épicéas, 22 = sapins, 23 = pins, 24 = mélèzes, 25 = rés. div., 31 = mélange feu_rés, 32 = mélange rés
Fil_pente	filtre des fortes pentes	(classes)	0 = zone non filtrée, 1 = zone de forte pente filtrée (exclue -> mise à no data)
Fil_prec	filtre précomptable	(classes)	0 = zone non filtrée, 1 = zone considérée non précomptable filtrée (mise à 0)
Struc_fam	familles de structure	(classes)	0 = non précomptable, 1 = lâche, 10 = Ir (irrégulier), 20 = PB-BM (petits bois et/ou bois moyens), 30 = BM-GB (bois moyens et/ou gros bois), 40 = GB (gros bois)
Struc_type	types de structure	(classes)	0 = non précomptable, 1 = lâche, 11 = Ir (irrégulier), 12 = Ir-GB (irrégulier à gros bois), 21 = PB-BM (petits bois dominants et bois moyens), 22 = BM-PB (bois moyens dominants et petits bois), 31 = BM-GB (bois moyens dominants et gros bois), 32 = GB-BM (gros bois dominants et bois moyens), 40 = GB (gros bois)
Typo_dens	typologie de densité	(classes)	0 = non précomptable, 1 = clair, 2 = densité moy., 3 = dense
Typo_cap	typologie de capital	(classes)	0 = non précomptable, 1 = capital faible, 2 = capital moy., 3 = capital fort
Typo_etage	étagement des peuplements	(classes)	0 = non précomptable, 1 = non étagé, 2 = faiblement étagé, 3 = étagé
Trouee	trouée potentielle	(classes)	0 = pas de trouée, 1 = trouée
Trouee_ht	hauteur dans les trouées	(m)	valeurs en continu

Résultats - Lidar dendrométrie Ho



H0_pred.tif

<VALEUR>

- 0 - 5
- 5,000000001 - 10
- 10,00000001 - 15
- 15,00000001 - 20
- 20,00000001 - 25
- 25,00000001 - 30
- 30,00000001 - 35
- 35,00000001 - 40
- 40,00000001 - 42,00103378

Erreurs pixel :

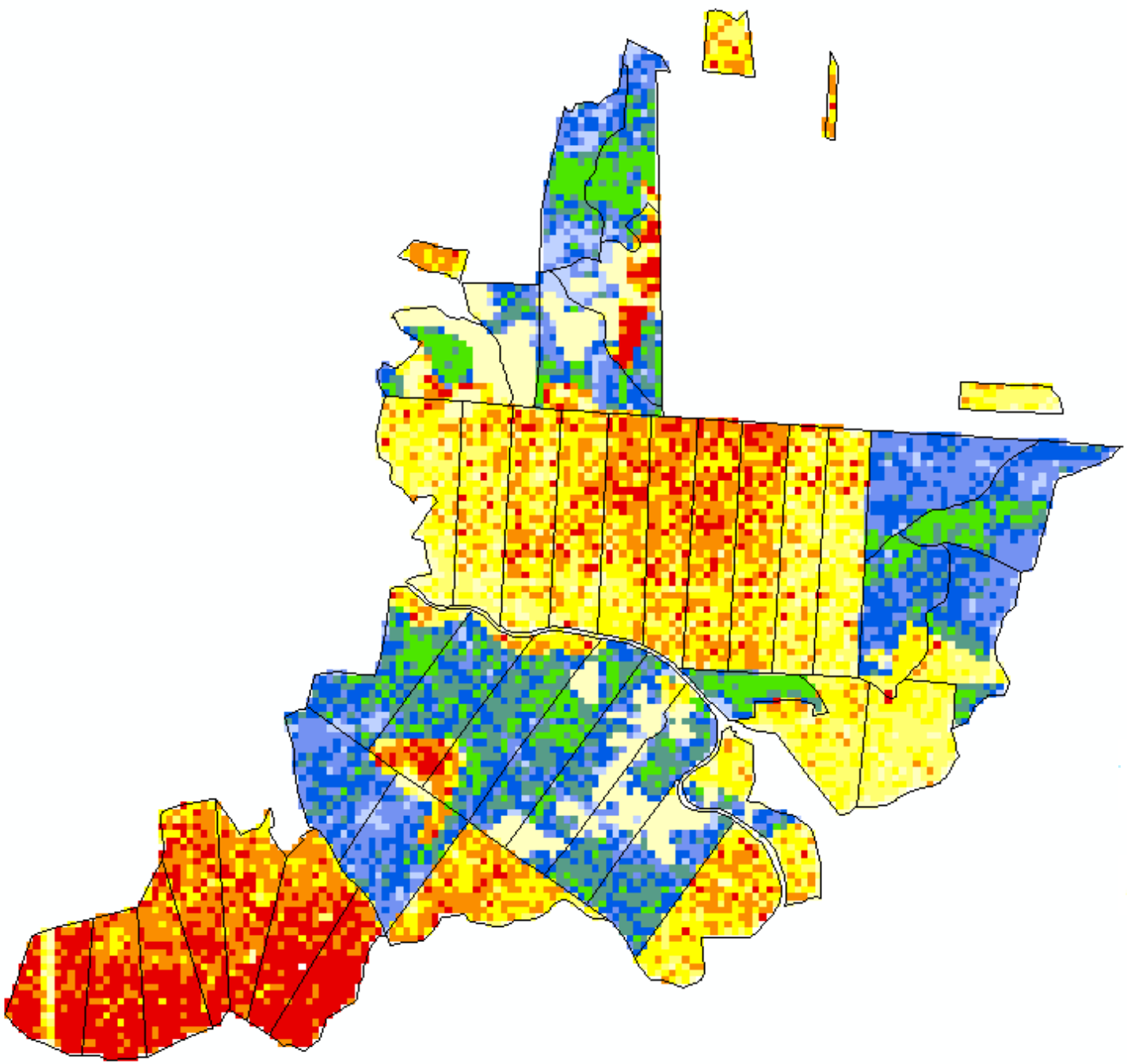
Rx

EQM : 1 (3%) – R2 : 0.87

Feu

EQM : 0.7 (3%) – R2 : 0.82

Résultats - Lidar dendrométrie G



G_pred.tif

<VALEUR>

- 0 - 13,42
- 13,42000001 - 17
- cible 17 - 20,58
- 20,58000001 - 24,16
- 24,16000001 - 40,74

G_pred.tif

<VALEUR>

- 0 - 12
- 12,00000001 - 20
- 20,00000001 - 28
- 28,00000001 - 36
- 36,00000001 - 62

Erreurs pixel :

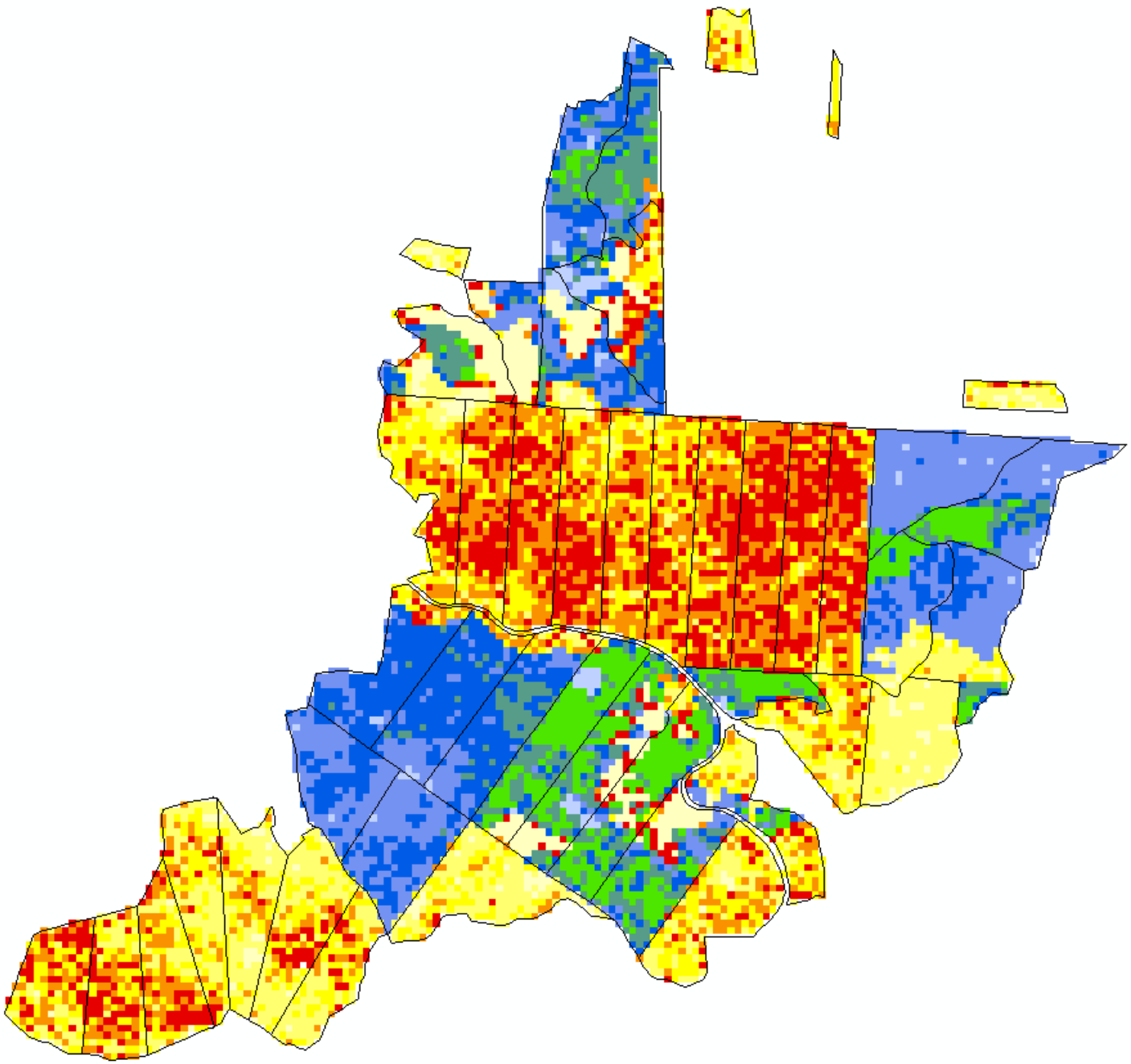
Rx

3.8 (14%) – R2 : 0.85

Feu

EQM : 2.9 (16%) – R2 : 0.53

Résultats - Lidar dendrométrie Dg



Dg_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 23,8 - T1
- 23,8 - 33 - T2 - T3a - (T9)
- 33 - 38,18 - T3m - T9 - T6 - T7
- 38,18 - 43,1 - T4 - T4bis
- 43,1 - 70 - T5

Dg_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 23,8 - T1
- 23,8 - 30,5 - T2 - T3a - T8
- 30,5 - 35,5 - T3m - T9 - T6 - T7
- 35,5 - 41 - T7 - T4 - T4bis - (T5)
- 41 - 85 - (T4bis) - T5

Erreurs pixel :

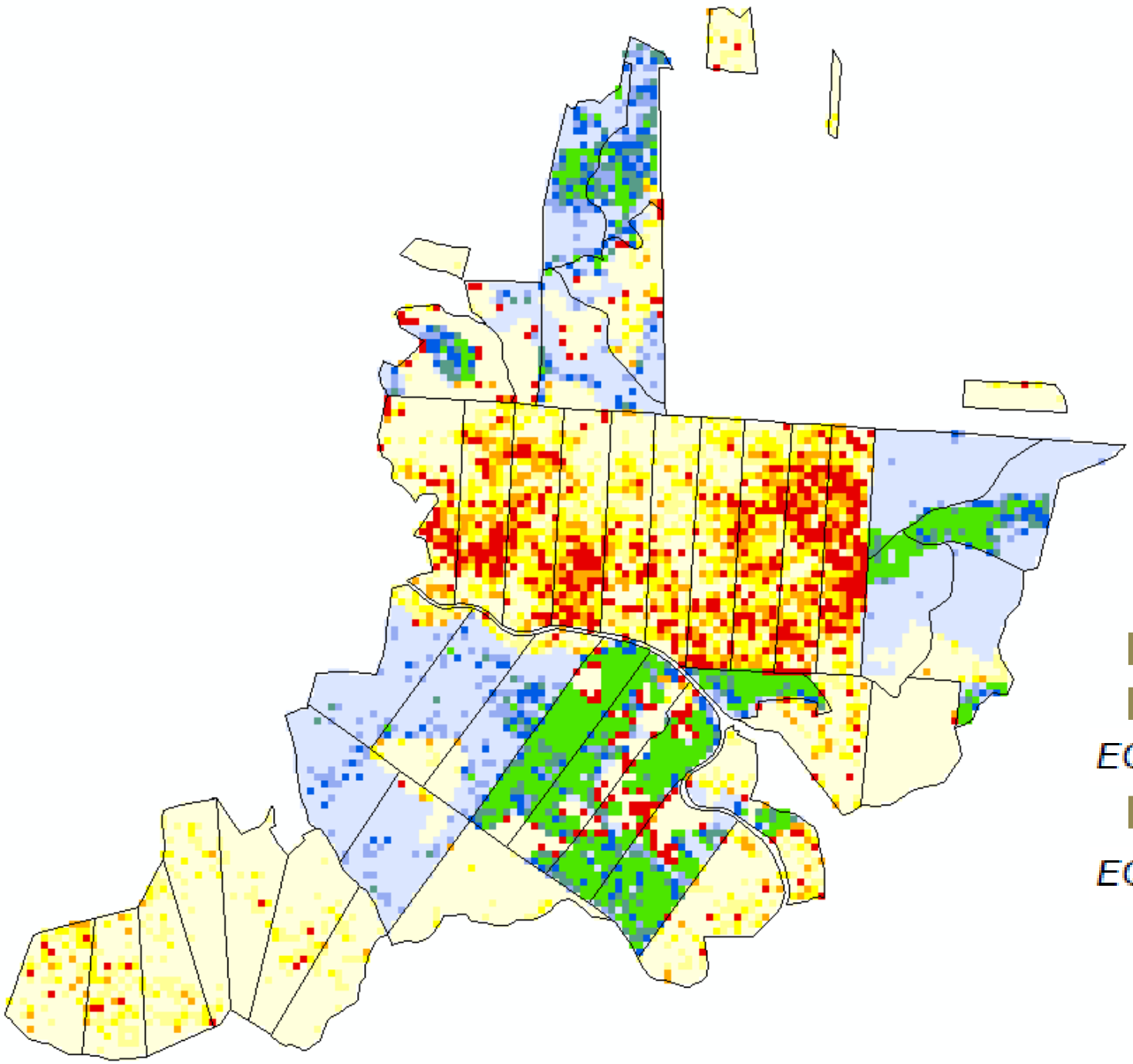
Rx

EQM : 3 (8%) – R2 : 0.85

Feu

EQM : 2.9 (8%) – R2 : 0.85

Résultats - Lidar dendrométrie %GB



p100GGB_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 45
- 45,00000001 - 55
- 55,00000001 - 65
- 65 - 75 - objectif
- 75,00000001 - 100

p100GGB_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 40
- 40,00000001 - 50
- 50 - 60 - objectif SAP
- 60 - 70 - objectif DOU
- 70,00000001 - 100

Erreurs pixel :

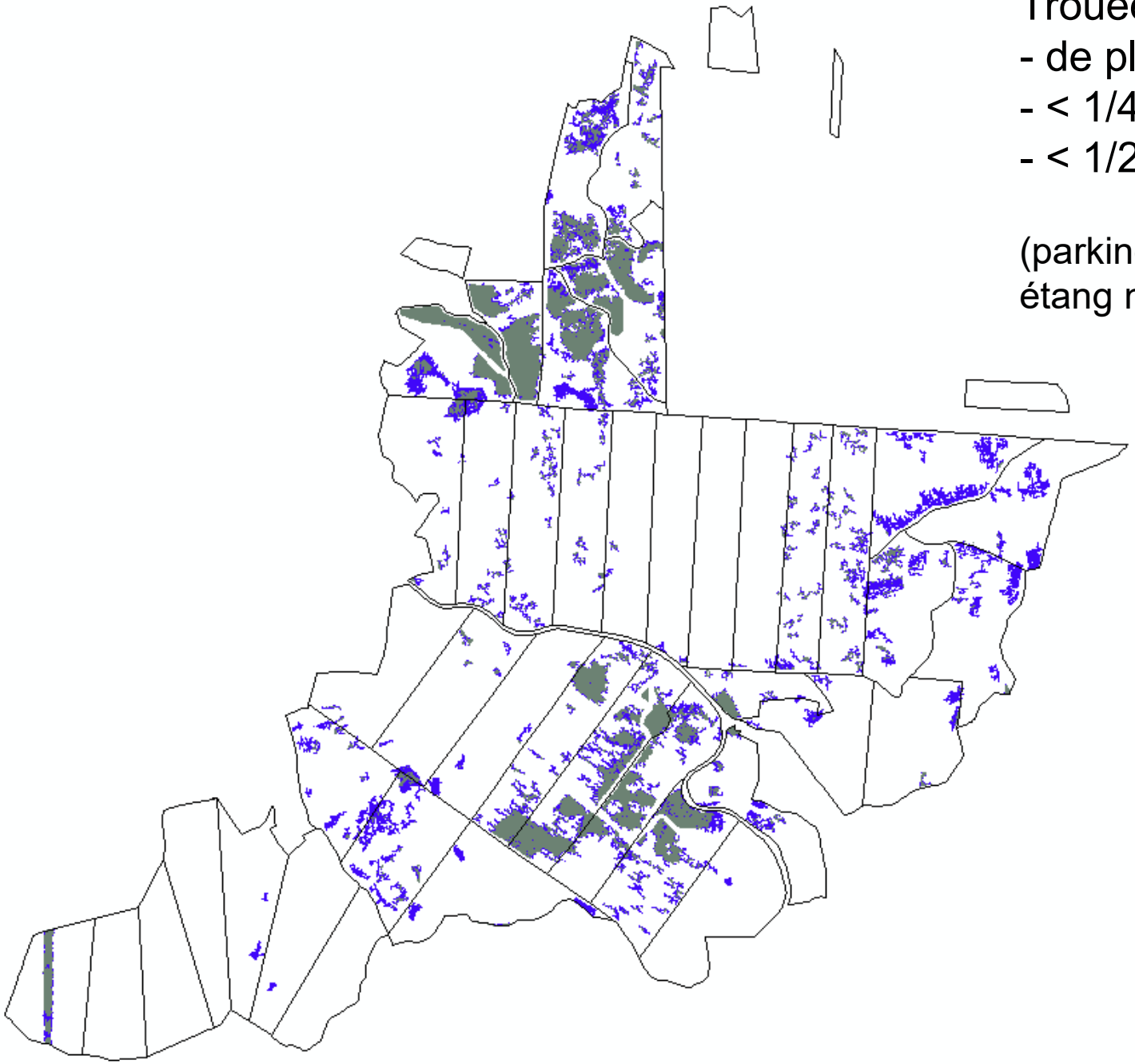
Rx

EQM : 10.1 (21%) – R2 : 0.87

Feu

EQM : 15.2 (36%) – R2 : 0.69

Résultats - Lidar dendrométrie Trouées potentielles



Trouées :
- de plus de 500m²
- < 1/4 Hpot : peu évoluées
- < 1/2 Hpot : évoluées

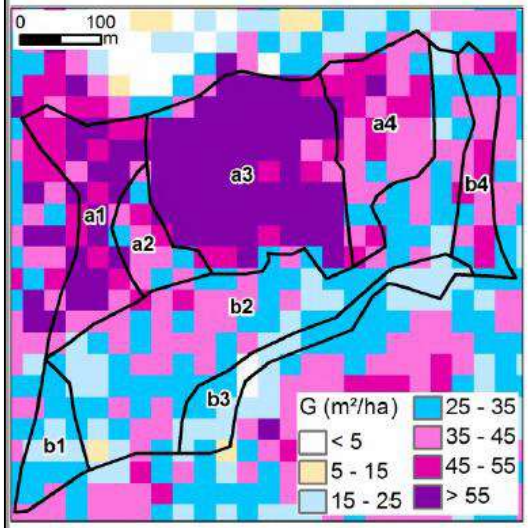
(parking, ligne électrique et étang non filtrés)

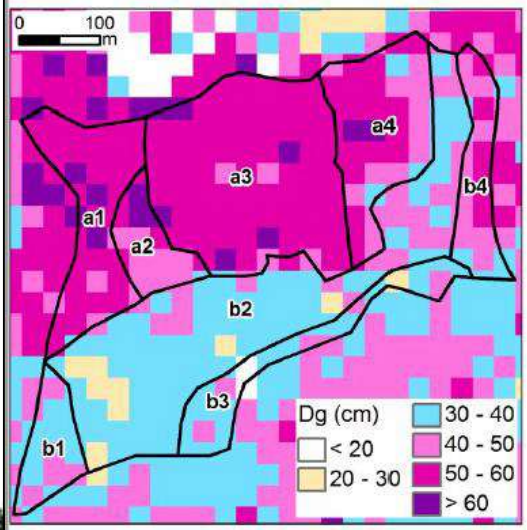
mares forestière pour certaines ?

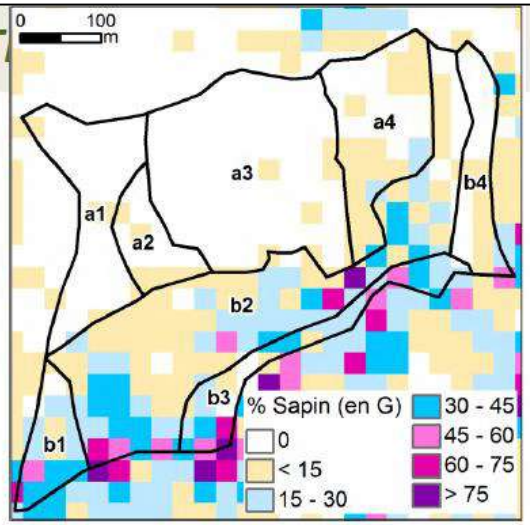
Résultats – pour l'élaboration des aménagements forestiers (plans de gestion)

MODÉLISATION DES PARAMÈT

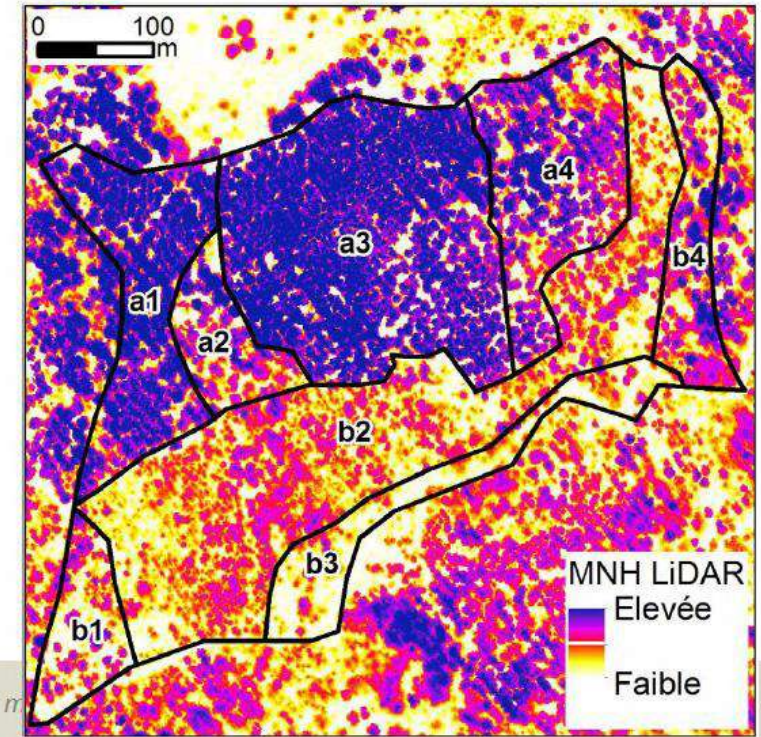
UTILISATION DES DONNÉES

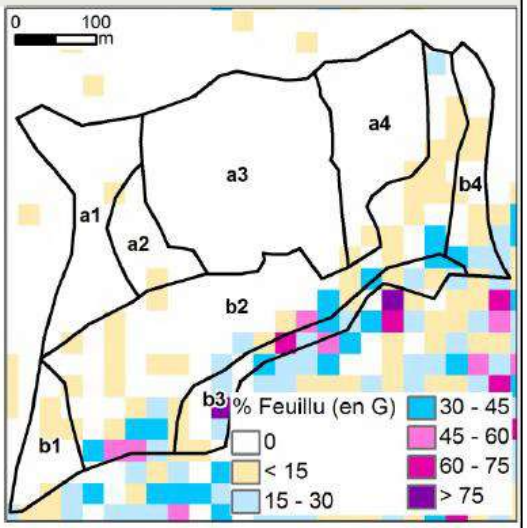


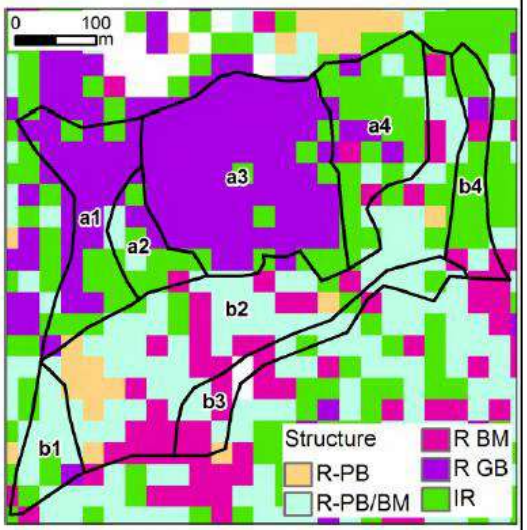




Limite de peuplement et/ou UG



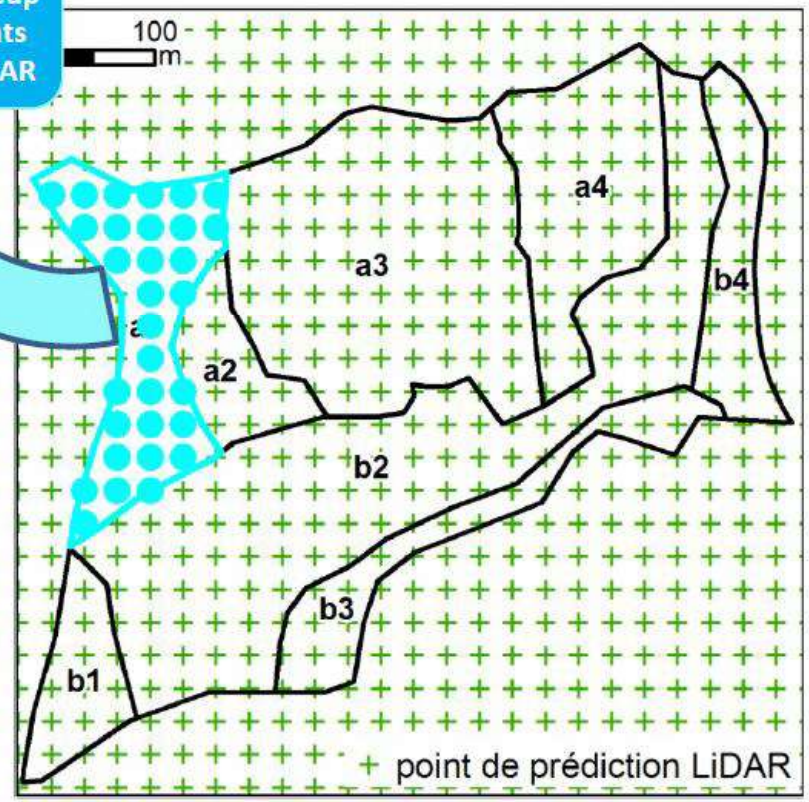




Résultats – pour l'élaboration des aménagements forestiers (plans de gestion)

Id_grille	H0_lidar	D0	Dg	N	G	GGB	p100GGB	p100GP	p100GF	p100GR	GP	GF	GR	Capital	Structure
83911	37.305635	71.860981	56.038886	233.491327	50.657628	43.83052	86.523041	94.988765	0	5.011235	48.119055	0	2.538573	M	R_GB
87433	36.952165	63.183925	44.096249	286.695846	41.724219	31.363228	75.16792	97.917726	0	2.082274	40.855407	0	0.868812	M	IR
85478	44.601323	77.293661	58.749301	251.226167	59.421638	53.240741	89.598238	98.249021	0	1.750979	58.381178	0	1.040461	R	R_GB
83912	43.117559	76.107051	59.897021	215.756488	52.109759	45.775851	87.845064	100	0	0	52.109759	0	0	R	R_GB
83913	41.635047	71.866571	53.541793	322.165525	65.399441	53.463097	81.748553	100	0	0	65.399441	0	0	R	IR
83914	41.658337	70.377656	54.852653	268.961006	56.639426	47.287427	83.488535	100	0	0	56.639426	0	0	R	R_GB

Jointure spatiale couche SIG (peup ou UG) / points prédiction LiDAR

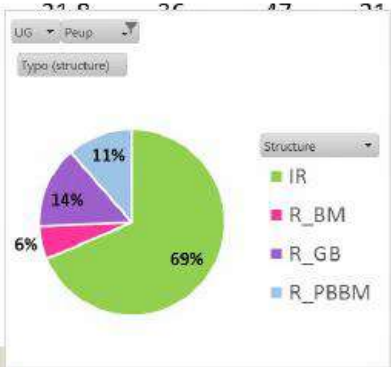


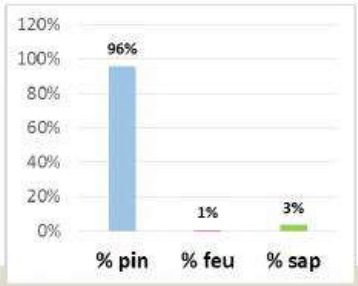
Attention : prendre en compte le nombre de val. = 0 !

- Utiliser dans la moy. pour G, GGB …
- Ne pas utiliser pour les valeurs dominantes (H0, D0 …)
- Dans tous les cas calculer le % de val. = 0 / nb val. total *(indicateur de vide / UG)*

Récapitulatif dendrométrique (par peup. ou UG)

UG ou peup	G (m²/ha)	Dg (cm)	D0 (cm)	H0 (m)	N (t/ha)	G pin	G feu	G sap
a	***55.4***	***54***	***71***	***39.1***	***274***	***54.8***	***0.1***	***0.5***
a1	57.3	56	73	40.8	264	57.1	0.1	0.1
a2	38.3	50	69	34.2	217	37.6	0.1	0.6
a3	63.4	55	71	41.5	302	63.3	0.0	0.1
a4	44.1	51	69	34.8	245	42.3	0.3	1.5
b	***31.0***	***38***	***54***	***25.9***	***267***	***23.7***	***2.4***	***4.9***
b1	26.3	41	60	28.3	197	19.7	0.4	6.1
b2	31.7	37	52	25.1	297	24.2	2.3	5.2
b3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	183	11.0	4.7	6.1
b4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	239	38.1	2.0	0.9

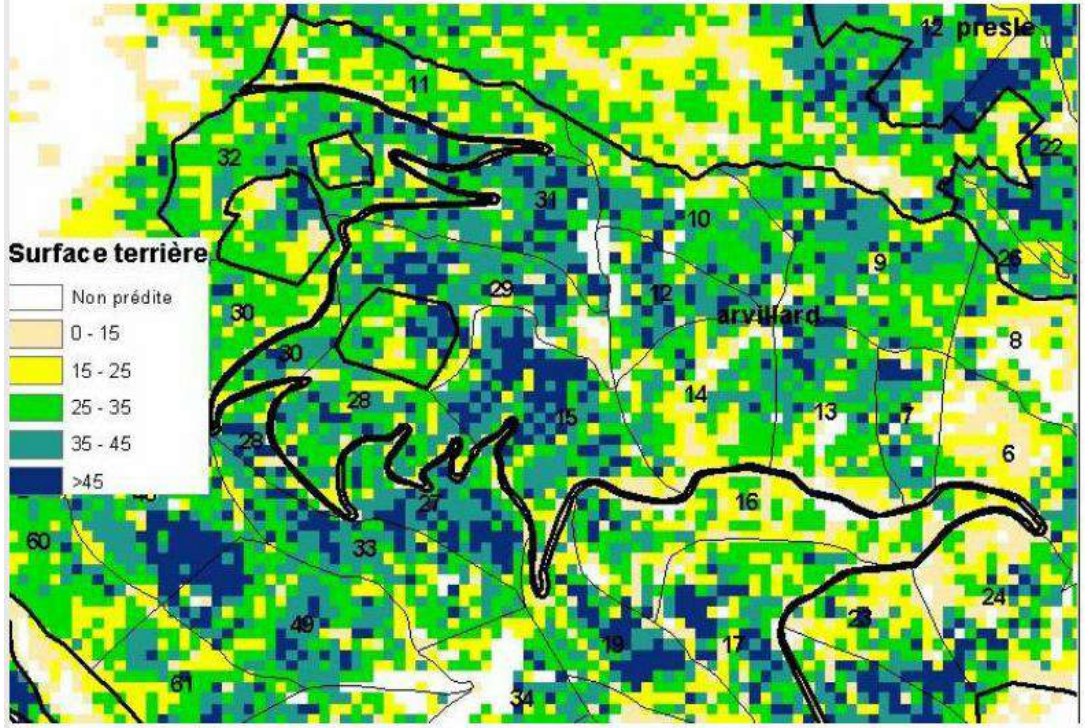




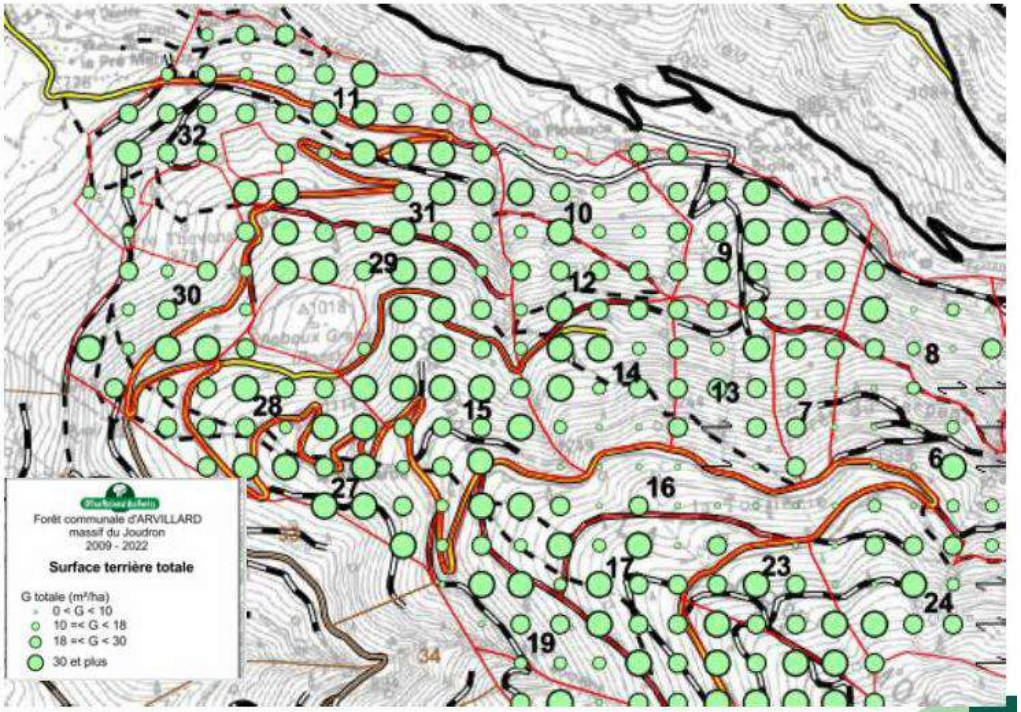
++ : des cartes plus fines

Les résultats : exemples de cartes

Des cartes exhaustives de prédiction des paramètres, à la résolution de ~25 m



Carte Surface terrière prédite LiDAR FC d'Arvillard
Placettes de l'Observatoire Savoie : 1 placette/130 ha

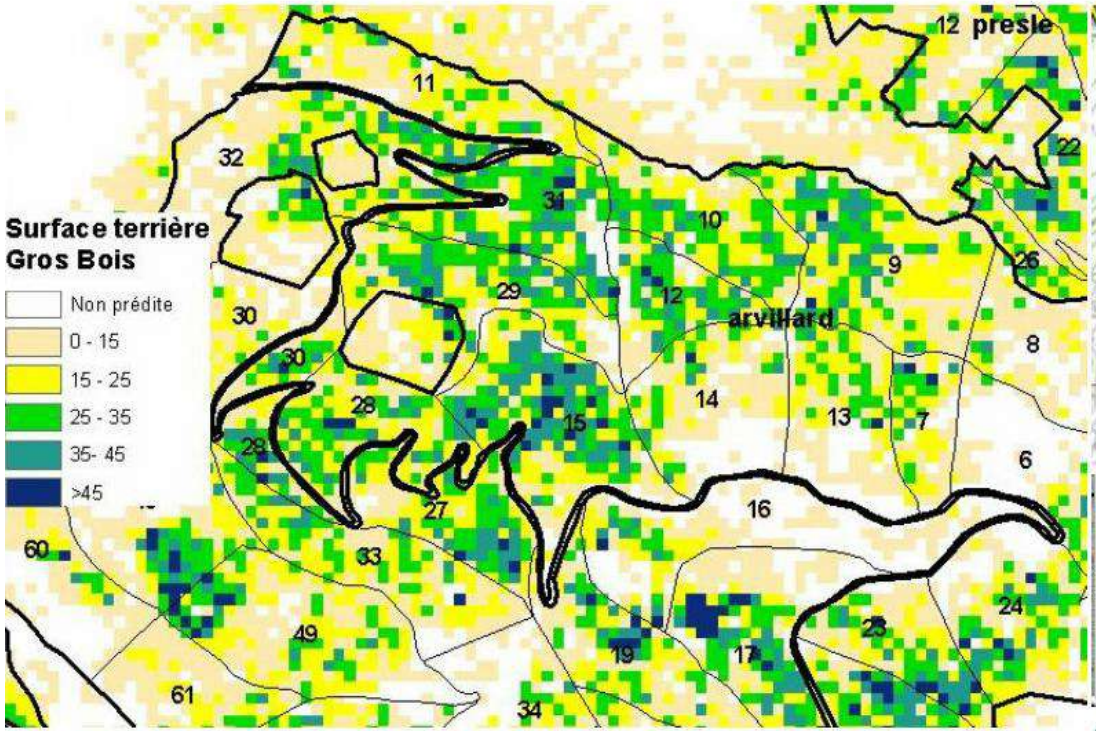


Carte Surface terrière Aménagement FC d'Arvillard
Placettes de l'aménagement : 1 placette/ ha

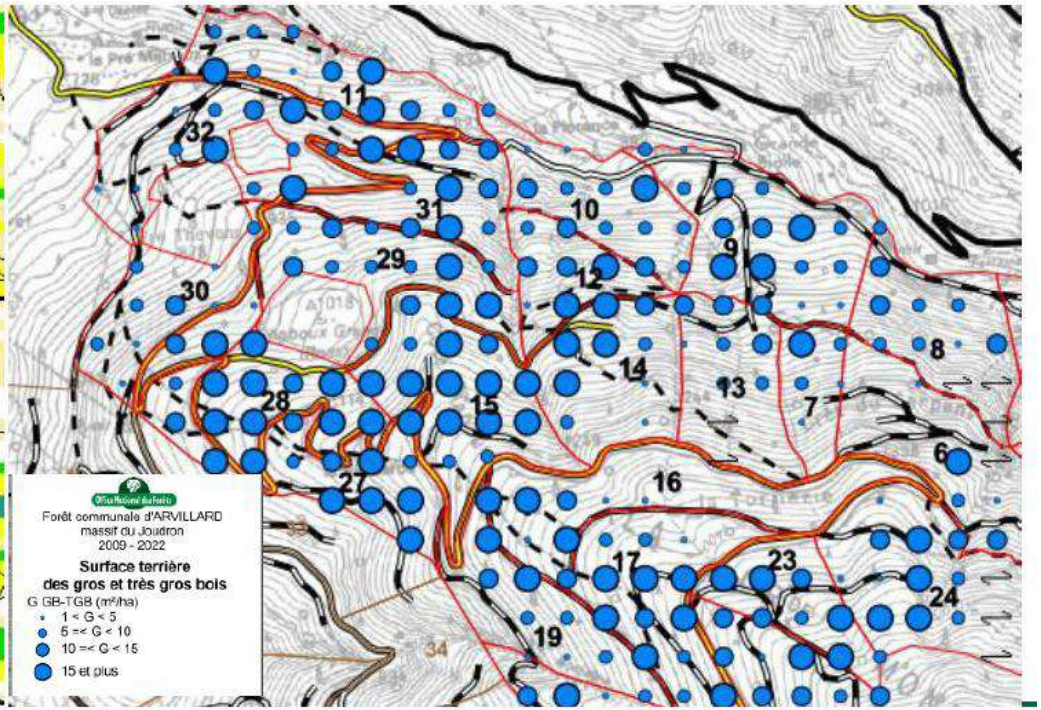
++ : des cartes plus fines

Les résultats : exemples de cartes

Des cartes exhaustives de prédiction des paramètres, à la résolution de ~25 m

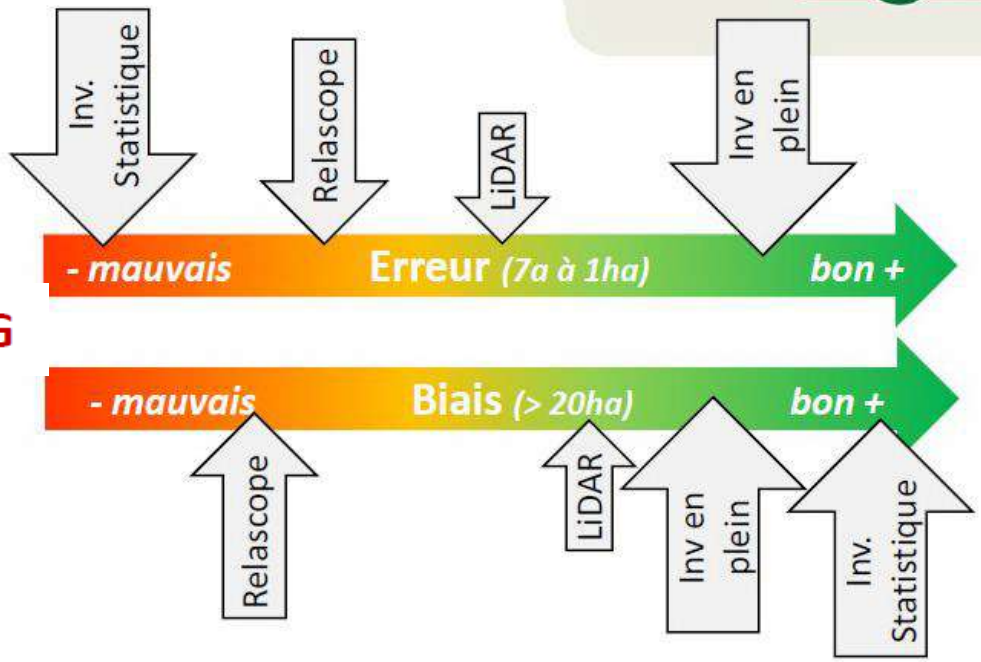


Carte Surface terrière des GB par LiDAR FC d'Arvillard
Placettes de l'Observatoire Savoie : 1 placette/130 ha



Carte Surface terrière des GB Aménagement FC d'Arvillard
Placettes de l'aménagement : 1 placette/ ha

+ : des erreurs bien placées



✓ Comparaison des méthodes pour G

Erreurs et biais des différentes méthodes d'inventaire pour la surface terrière (G)

	Erreur / placette (≈ 7 ares)	Erreur / peuplement (≈ 1 ha)	Biais / bloc (> 20 ha)	Observation
Modélisation LiDAR	3 à 9 m²/ha *(soit 13 à 26%)*	2 à 5.5 m²/ha *(soit 7 à 20%)*	-1.4 à +1.0 m²/ha *(-5 à +3%)* *1	**1 : négatif = sur estimation LiDAR*
Relascope au facteur 1	6.3 m²/ha (24%) en moy. 8.7 m²/ha (33%) au max.	erreur ≈ placette	-2.1 m²/ha (-8%) en moy. -6.1 m²/ha (-26%) au max. *2	*Source : étude RDI (remesure) menée sur 202 points au facteur 1 (sur 7 forêts de montagne ≠)* **2 : négatif = sous estimation relascopique*
Relascope au facteur 2	6.2 m²/ha (24%) en moy. 7.4 m²/ha (29%) au max.	erreur ≈ placette	+1.8 m²/ha (+7%) en moy. +5.1 m²/ha (+20%) au max. *2	*Source : étude RDI (remesure) menée sur 198 points au facteur 2(sur 7 forêts de montagne ≠)* **2 : négatif = sous estimation relascopique*
Inventaire en plein	non concerné	-15 à +10% *(soit ≈ ± 2 à 3.5 m²/ha)*	-2.5% *(soit ≈ 0.5 à 0.8 m²/ha)* *3	*Source : Duplat P., Perrotte G., 1981, Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers* **3 : négatif = sous estimation inv. en plein*
Inventaire statistique par placette	pour info : 0.5 à 1.5 m²/ha	Pas d'estimation possible !	Biais non quantifié ! Erreur statistique = erreur d'échantillonnage	*Le biais n'est pas estimé dans les inventaires statistiques, mais on peut le considérer comme faible*

-- des données non accessibles au Lidar

Le renouvellement de la forêt :

- Semis
- Perches
- Dégâts de gibier

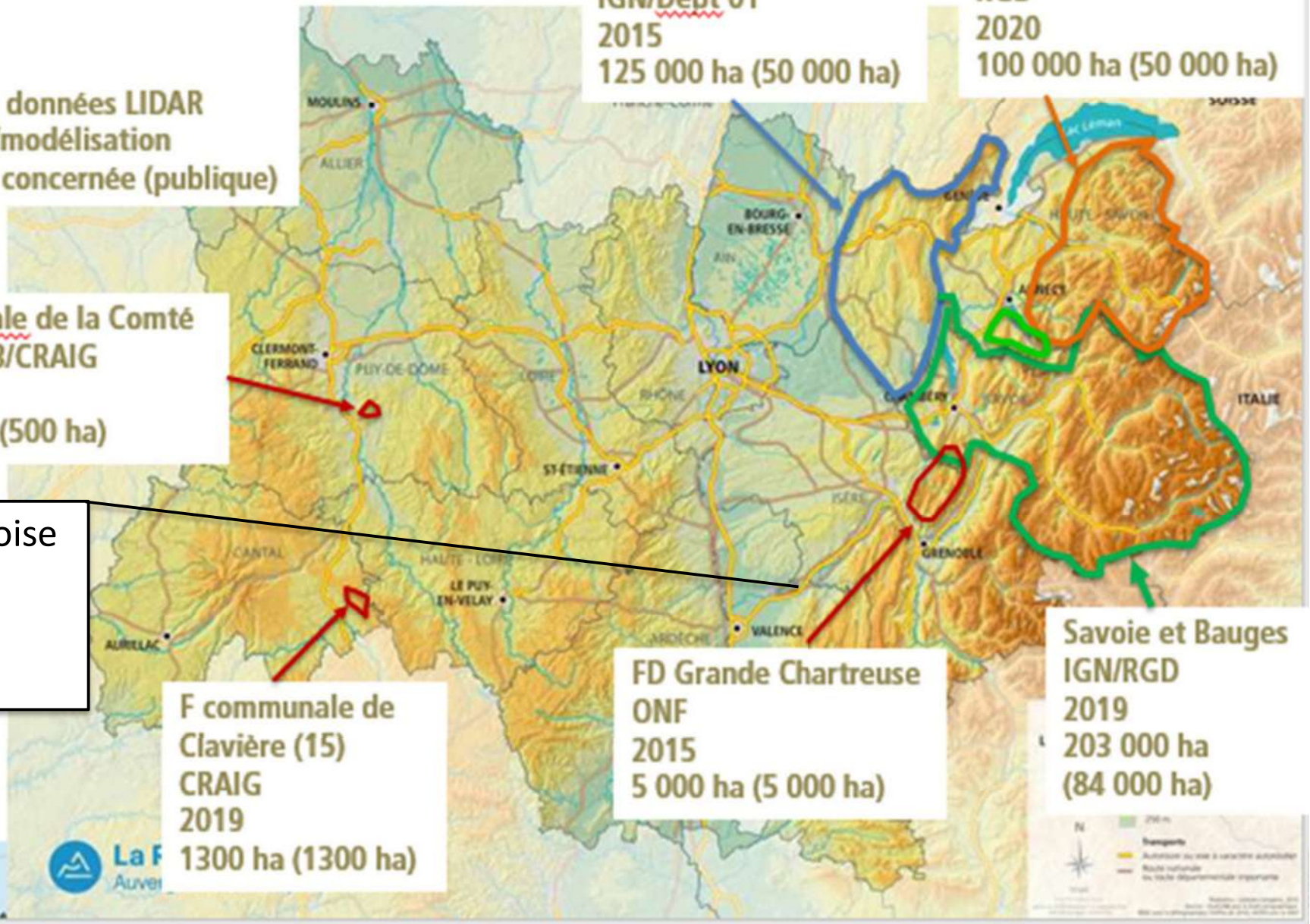
- **des données qui peuvent être limités dans le niveau de détail souhaité :**

  - Des essences détaillées
  - Une répartition par classes de diamètre
  - Le G des PB
  - Une distinction GB / TGB / TTGB

- **ne pas oublier que le regard sur le terrain reste primordial !**

+ : changement d'échelle
De l'approche forêt par forêt à l'approche territoire

Légende
- Zone
- Mise à disposition données LIDAR
- Année calibration/modélisation
- Surface forestière concernée (publique)



+ : changement d'échelle
Facilité par la campagne Lidar HD de l'IGN

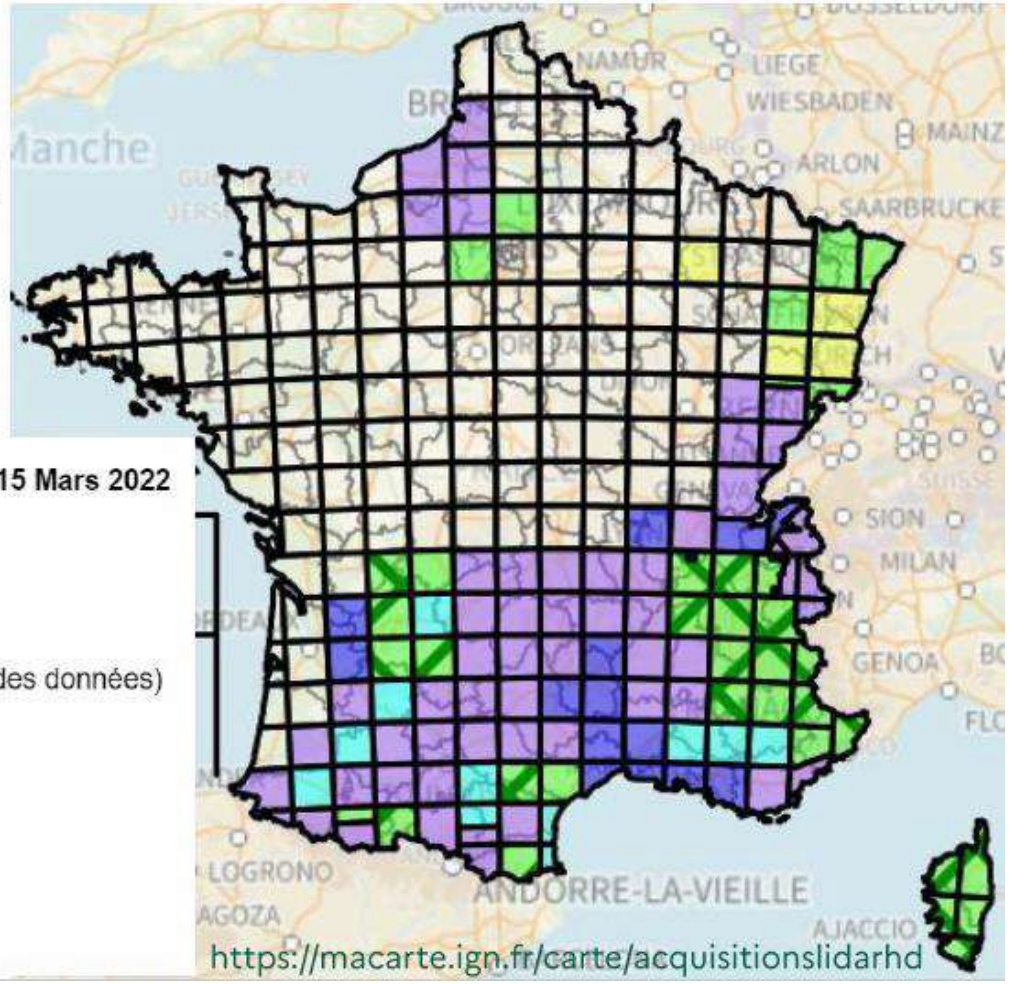
Le LIDAR HD de l'IGN

✓ Plan de relance 2020

- *22 M€ pour l'acquisition France entière LIDAR HD à 10 pts/m²*
- *Coût global estimé par IGN à 60 M€ sur 5 ans*
- *Priorisation par le MAA des zones pastorales sur 2021 et 2022*

Programmation des acquisitions LIDAR HD au 15 Mars 2022

- Nuage de point brut validé et disponible
- Données brutes en cours de contrôle
- Acquisition validée (en attente de reception des données)
- Acquisition réalisée
- Acquisition en cours
- Acquisition prévue au printemps été 2022
- Acquisition prévue d'ici 2026



38.7 x 190.5 mm

+ : Des effets collatéraux

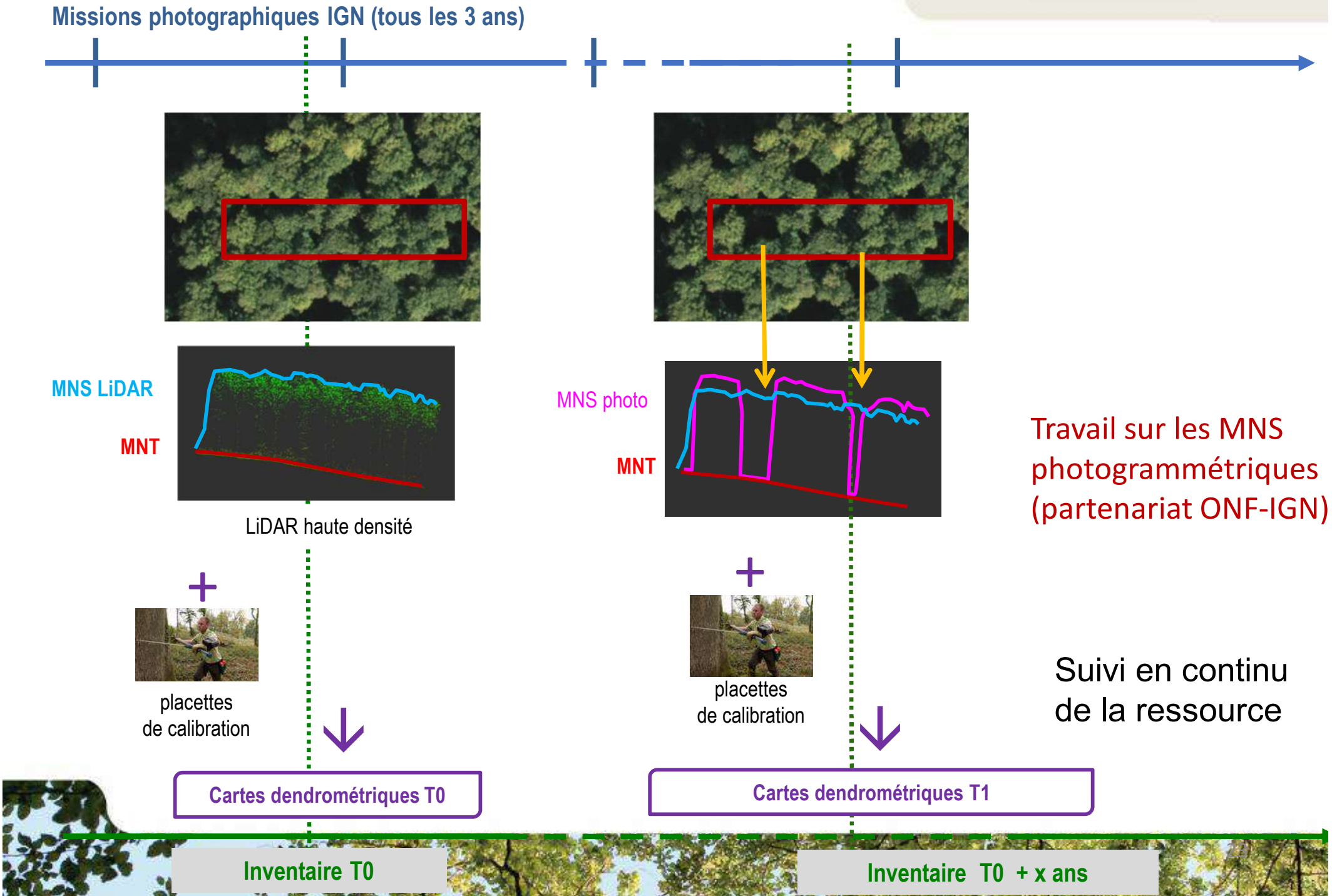
prises de données complémentaires à la calibration

- Pour monitoring environnemental :
  - Bois mort sur pied
  - Bois mort au sol
  - Dendromicrohabitats
- Pour le monitoring des forêts (flux) :
  - Passage à la futaie
  - Accroissements
  - Mortalité
  - Prélèvements

Evolution des méthodes de travail

- Le forestier fait moins de mesures quotidiennes et plus d'expertise
- Passer
  - D'une évaluation ponctuelle sur la forêt (pour plan de gestion) ou sur la parcelle (pour coupe)
  - à un suivi de ressource à l'échelle gestion (<> IFN qui propose un suivi de ressource à l'échelle nationale ou départementale)

PERSPECTIVES : MISE À JOUR DES DONNÉES - PHOTOGRAMMÉTRIE



Travail sur les MNS photogrammétriques (partenariat ONF-IGN)

Suivi en continu de la ressource

Travaux de recherche INRAE Aix

Objectif :
amélioration de la cartographie du combustible, qui elle-même sert de base fondamentale à toute la chaîne d'évaluation du risque :

- cartes de sensibilité de la végétation utilisées en saison opérationnelle (croisement avec les indices météo pour l'évaluation du danger),
- cartes d'évaluation du risque à long terme à l'échelle nationale (par croisement avec les conditions météo future),
- cartes d'aléa incendie, utilises pour de très nombreuses applications (plans régionaux et départementaux, plans de massifs, PPRIF)
- etc.

Calibration LIDAR : données DFCI

Les données concernent la végétation située au sein de la placette de 10 m de rayon (ou 15 m selon les protocoles).

Il est fortement recommandé de matérialiser le centre de la placette ainsi que 4 points périmétraux avec des jalons ou des rubans de rubalise à installer en arrivant sur les placettes et à remballer après.

Le travail par quart de placette facilite parfois l'appréhension des recouvrements.

La prise des données DFCI doit être faite après l'acquisition des données dendro, de telle sorte que toute la placette ait été parcourue avant de renseigner les données de recouvrement.

Les strates indiquées sont des strates de hauteur, pas des strates de type « étage dominant / sous-étage / arbustif » dont on a l'habitude en foresterie. Ici, on sort d'une logique peuplement, on ne s'intéresse qu'à des quantités de combustibles en 3D. Par exemple, la végétation de la strate [4 – 5 m] peut comprendre des arbustes de sous-étage et/ou des branches basses de l'étage supérieur.

Les recouvrements sont en dixièmes (autrement dit en classes de 10 % : 0 ; 1 à 10 %, 11 à 20 %, etc.). Toutefois ne pas tergiverser à 10 % près. Sont à prendre en compte la végétation vivante et la végétation morte, mais pas les troncs *(par exemple dans une haute futaie de gros bois sans aucun sous-bois, on compterait un recouvrement de 0 pour toutes les strates considérées).*

NB : intercalibration à prévoir en formation.

Données à prendre :

- Sol nu ou mousse ou litière (i.e. tout ce qui n'est pas couvert par les strates herbacée et arbustive) : **recouvrement**

- Herbacées (dont aphyllanthe) : **recouvrement**

  Attention la litière peut fausser l'œil en se confondant visuellement avec les herbacées.

- Pour chacune des strates suivantes, noter **l'espèce principale** :
[0 - 2 m] ; [2 – 5 m] ; [> 5m]

  Noter une, deux ou trois espèces représentant à elles seules ¾ de la végétation présente ; sinon, noter « mélange ».

  Mini-flore arbustes disponible pour la Provence calcaire.

- Puis pour chacune des strates suivantes, noter **le recouvrement** de la végétation :
[0 - 0,5 m] ; [0,5 – 1 m] ; [1 – 2 m] ; [2 – 3 m] ; [3 – 4 m] ; [4 - 5m]

  On imagine qu'on ait supprimé la végétation au-dessous et au-dessus des hauteurs limites de la strate et qu'on regarde le recouvrement de ce qui reste depuis le ciel.

  Pour la strate [0 - 0,5 m], les herbacées ne sont PAS à prendre en compte, ni la litière potentiellement épaisse.

  Le raisonnement peut utilement commencer par aborder les grands ensembles de manière globale ; notamment visualiser les strates qui n'ont pas de différence notable entre elles.

  L'utilisation de perches graduées est recommandée ; par défaut les opérateurs peuvent se calibrer en hauteur : 2 m représente souvent la hauteur bras levé, 1 m la hanche, 0,5 m le genoux…

II. Modélisation des habitats

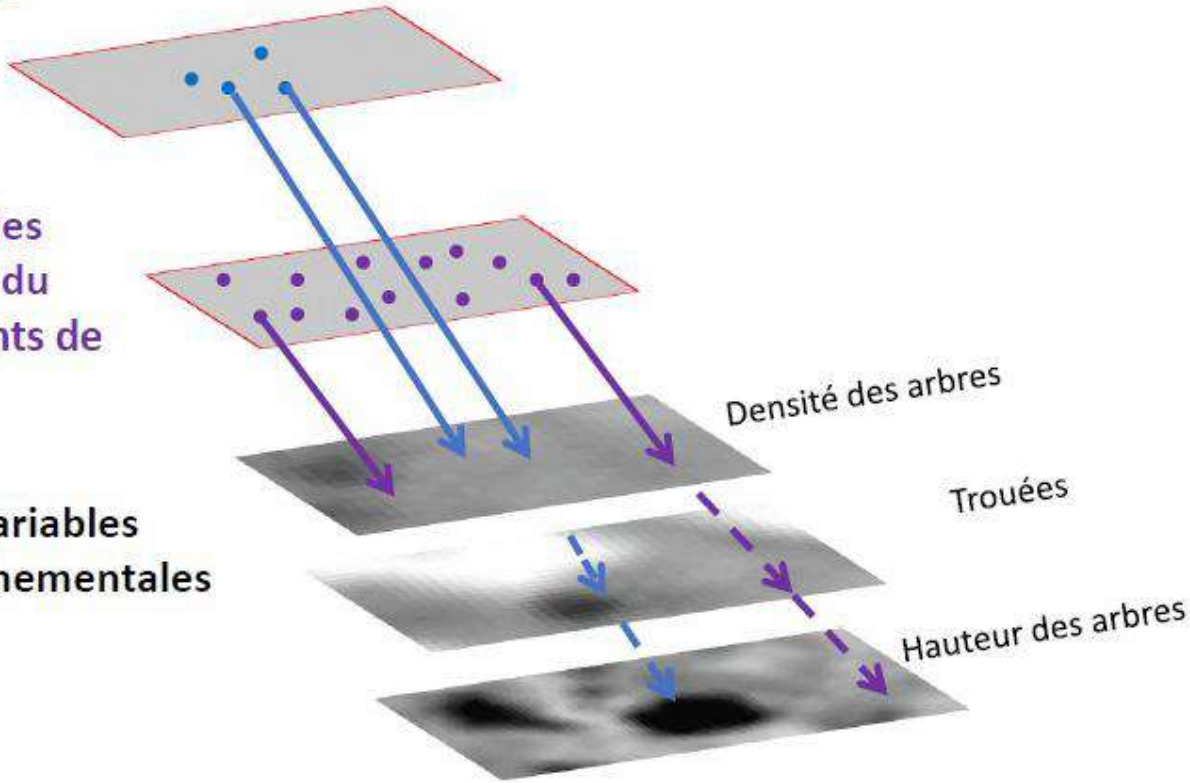
Les modèles d'habitat, comment ça marche?

Données → Modélisation → Résultats

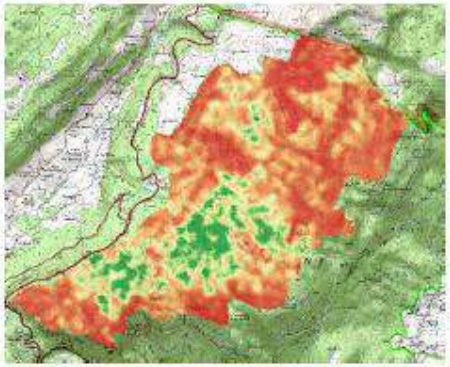
1) Observation de l'espèce

2) Connaître les composantes du paysage: les points de fond

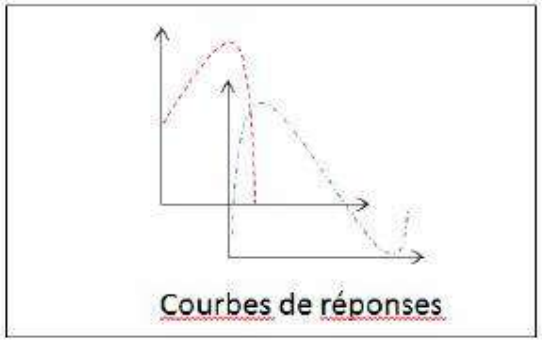
3) Variables environnementales

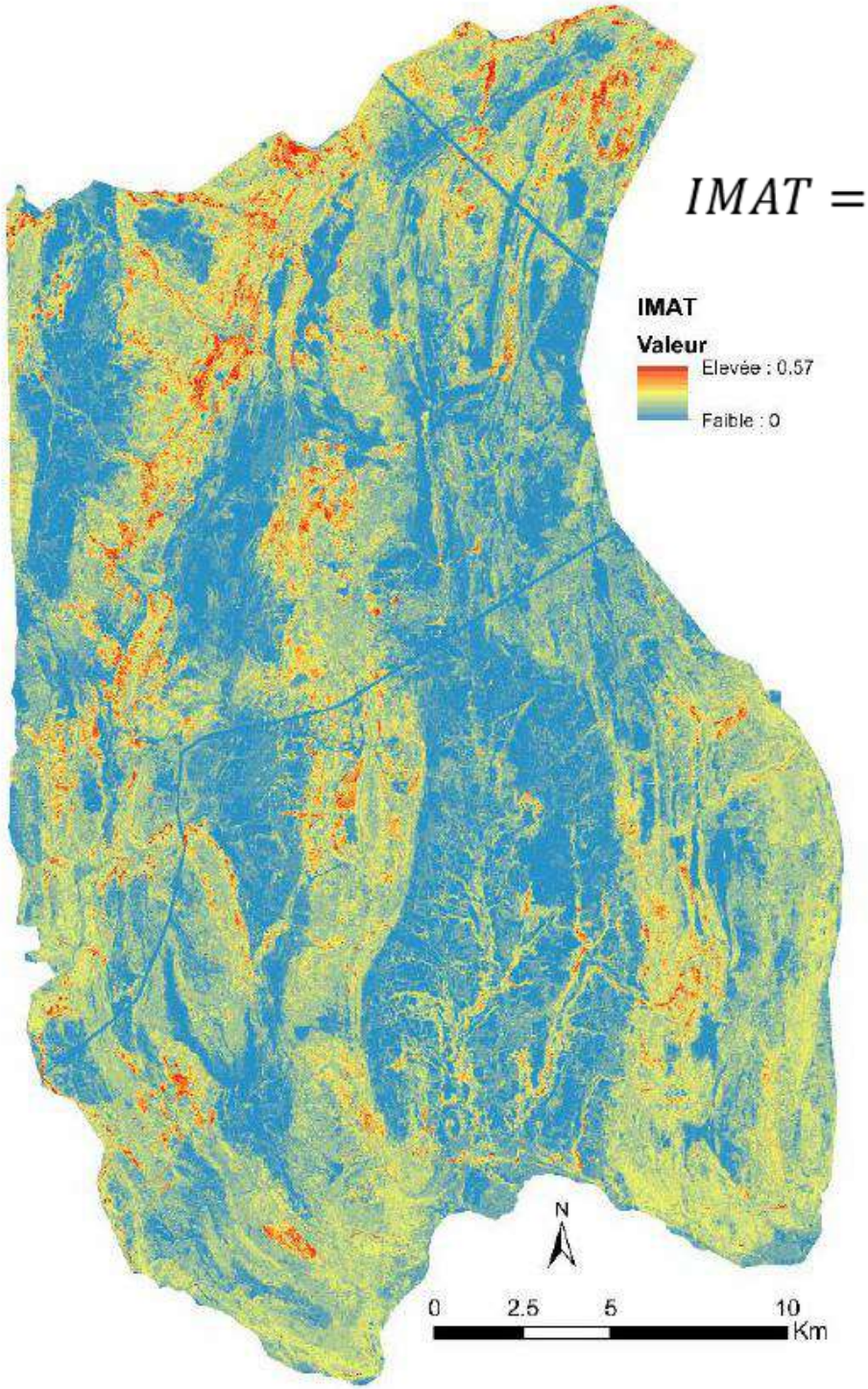


Obtention d'une carte de qualité de l'habitat



Comprendre ce qui caractérise l'habitat





$$IMAT = \frac{1}{3}\left(\frac{GTGB}{\eta.99(\mathrm{GTGB})} + \frac{GBMD}{\eta.99(\mathrm{GBMD})} + \frac{VBMS}{\eta.99(\mathrm{VBMS})}\right)$$

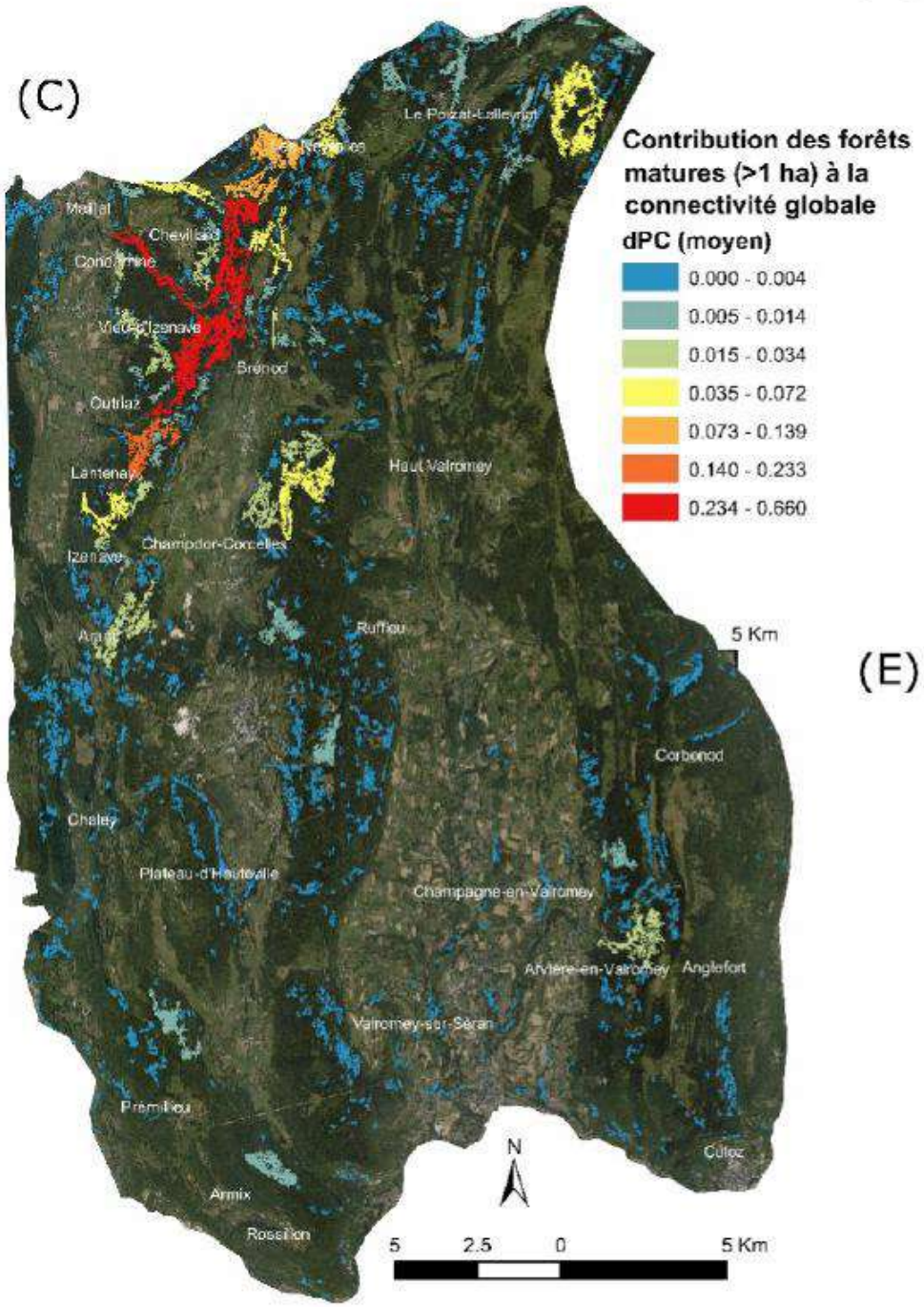
INRAE Grenoble

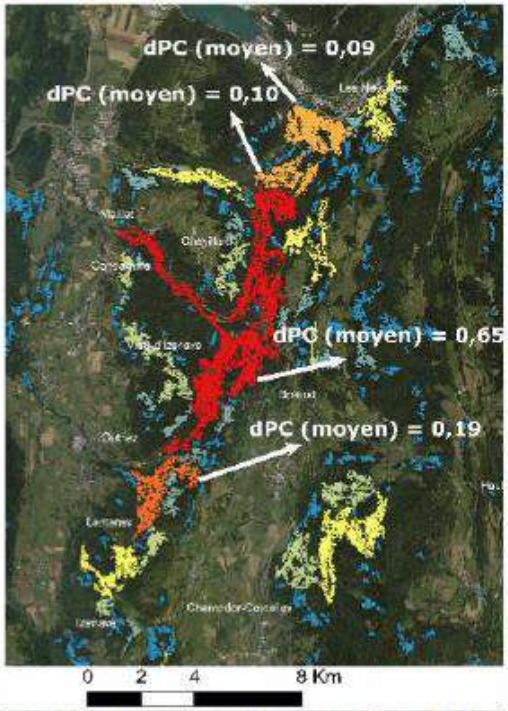
Indice de maturité structurale des peuplements
(il me semble qu il y a un 4ème compartiment sur le nombre de degrés de décomposition du Bois Mort au Sol ?)

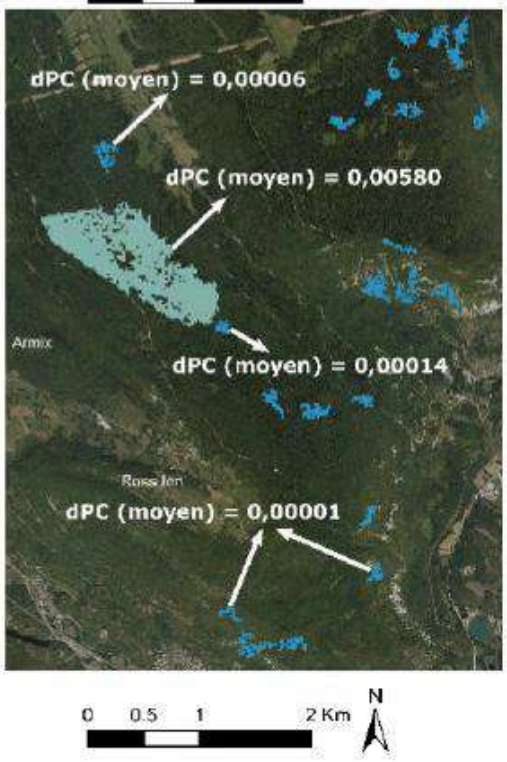
Relatif :
- Échelle régionale
- Échelle locale

Ne couvre pas tous les critères de maturité.
D'où son nom, limité à « structurale »

Souffre de quelques biais en cours d'amélioration







INRAE Grenoble

Mise en évidence des forêts mâtures jouant un rôle déterminant dans la connectivité des milieux

Échelle relative :

- Régionale
- Locale

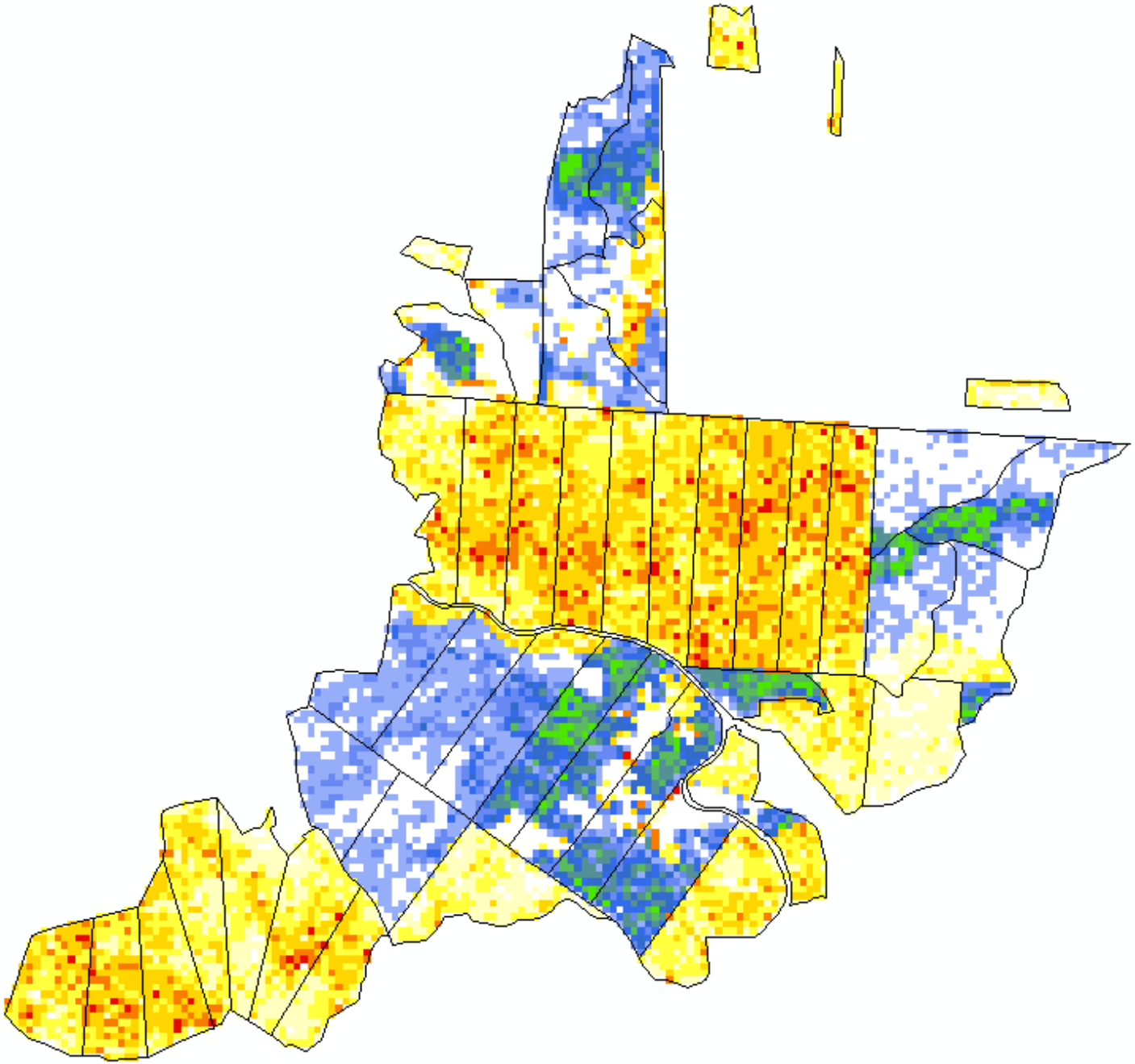
Permet aussi de mettre en évidence les connectivités à restaurer

Lidar dendrométrie
Observatoire des forêts

FIN

Agence Montagnes d'Auvergne
Service Aménagement

Résultats - Lidar dendrométrie GGB



GGB_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 2
- 2,000000001 - 10
- 10,00000001 - 15
- 15,00000001 - 20
- 20,00000001 - 25
- 25,00000001 - 30
- 30,00000001 - 35
- 35,00000001 - 57,2350769

GGB_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 0,5
- 0,5 - 5
- 5,000000001 - 10
- 10,00000001 - 15
- 15,00000001 - 20
- 20,00000001 - 32,97865295

Erreurs pixel :

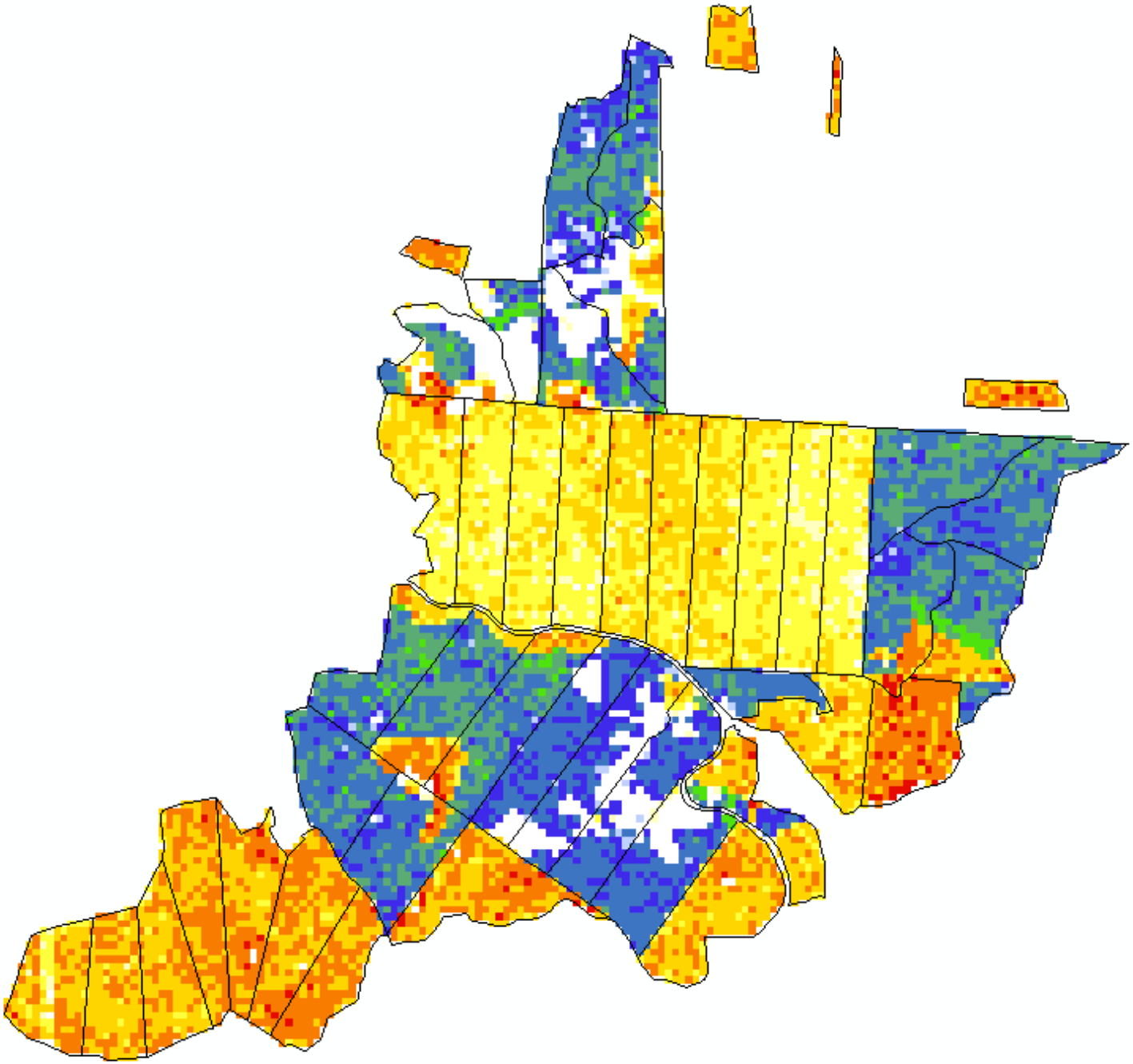
Rx

EQM : 3 (21%) – R2 : 0.9

Feu

EQM : 2.8 (35%) – R2 : 0.76

Résultats - Lidar dendrométrie N



N_pred.tif

<VALEUR>

- 0 - 10
- 10,00000001 - 100
- 100,0000001 - 200
- 200,0000001 - 300
- 300,0000001 - 400
- 400,0000001 - 779,3718872

N_pred.tif

<VALEUR>

- 0 - 10
- 10,00000001 - 100
- 100,0000001 - 200
- 200,0000001 - 300
- 300,0000001 - 400
- 400,0000001 - 555,3065186

Erreurs pixel :

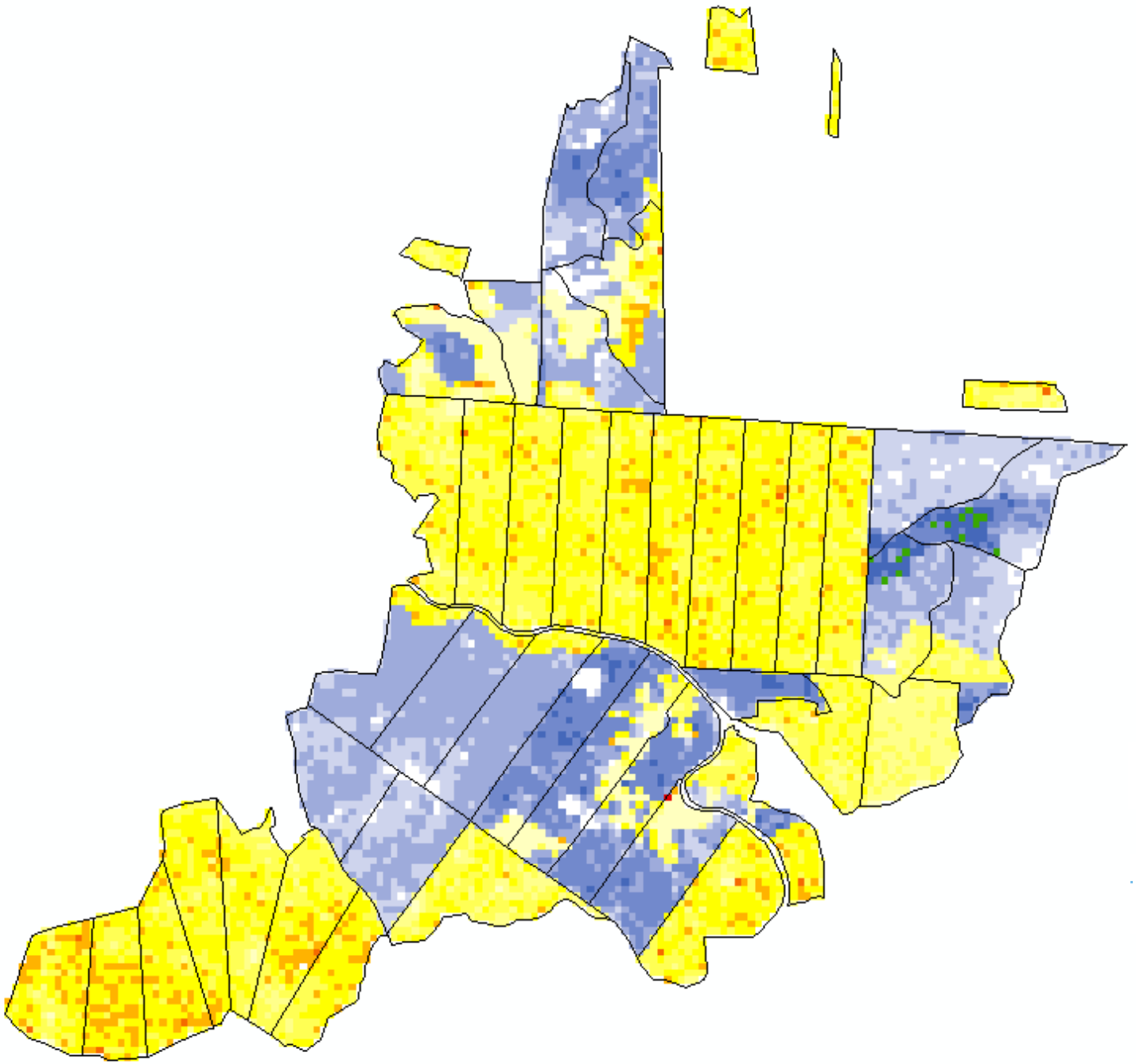
Rx

EQM : 62.5 (25%) – R2 : 0.58

Feu

EQM : 54 (24%) – R2 : 0.73

Résultats - Lidar dendrométrie Do



D0_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80,32804871

D0_pred.tif
<VALEUR>
- 0 - 25
- 25 - 35
- 35 - 45
- 45 - 55
- 55 - 65
- 65 - 75
- 75 - 85

Erreurs pixel :

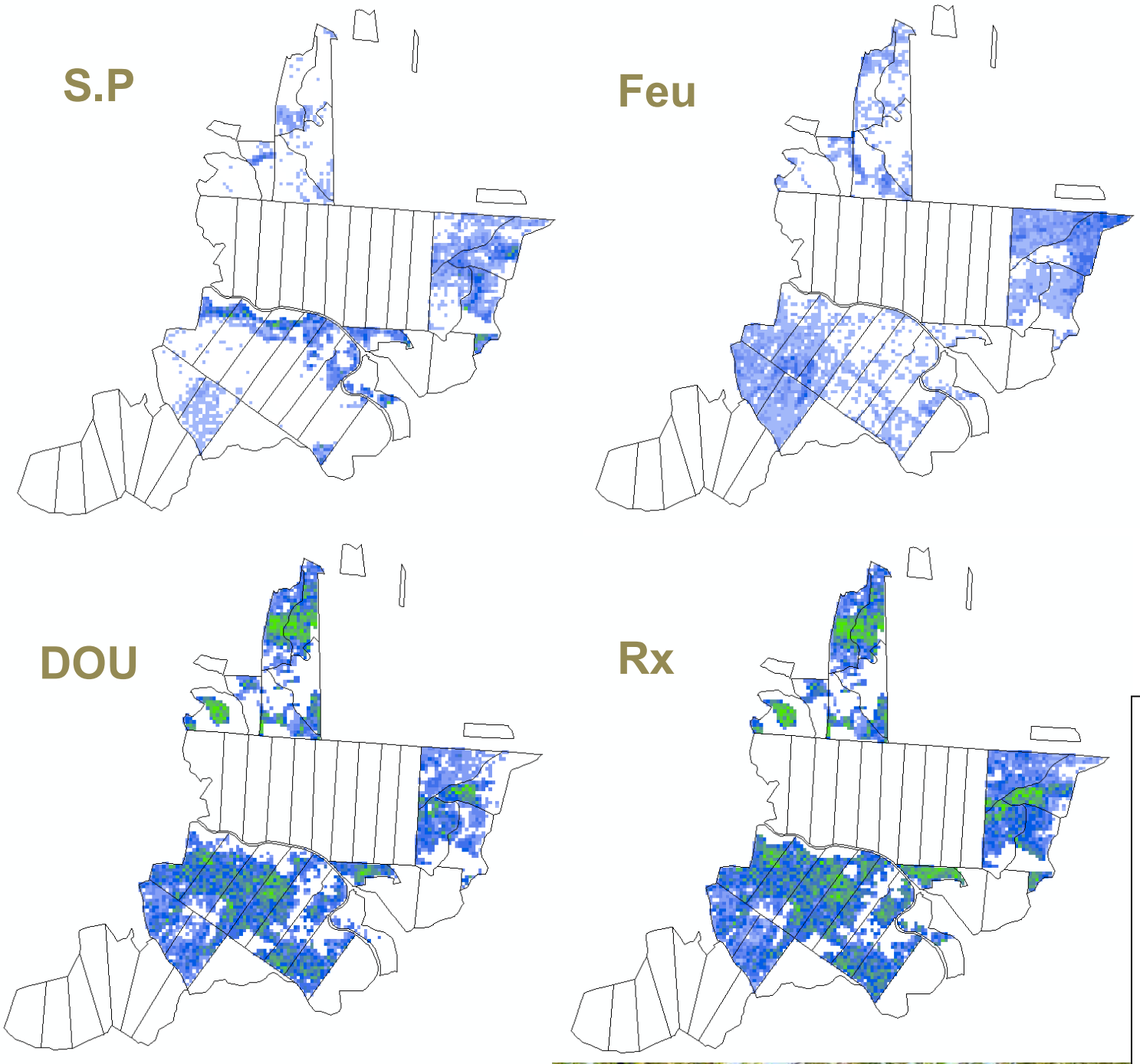
Rx

EQM : 2.9 (6%) – R2 : 0.88

Feu

EQM : 3.2 (8%) – R2 : 0.81

Résultats - Lidar dendrométrie Gess



- 0 - 1
- 1,000000001 - 5
- 5,000000001 - 10
- 10,00000001 - 15
- 15,00000001 - 20
- 20,00000001 - 25
- 25,00000001 - 30
- 30,00000001 - 35
- 35,00000001 - 40
- 40,00000001 - 45
- 45,00000001 - 61,29135513

Erreurs pixel :

DOU

EQM : 4.9 (26%) – R2 : 0.83

S.P

EQM : 4.5 (102%) – R2 : 0.78

Rx

EQM : 3.7 (16%) – R2 : 0.88

Feu

EQM : 3.5 (91%) – R2 : 0.4

ERREUR DE VALIDATION

Précision (bonne prédiction) : 81 %

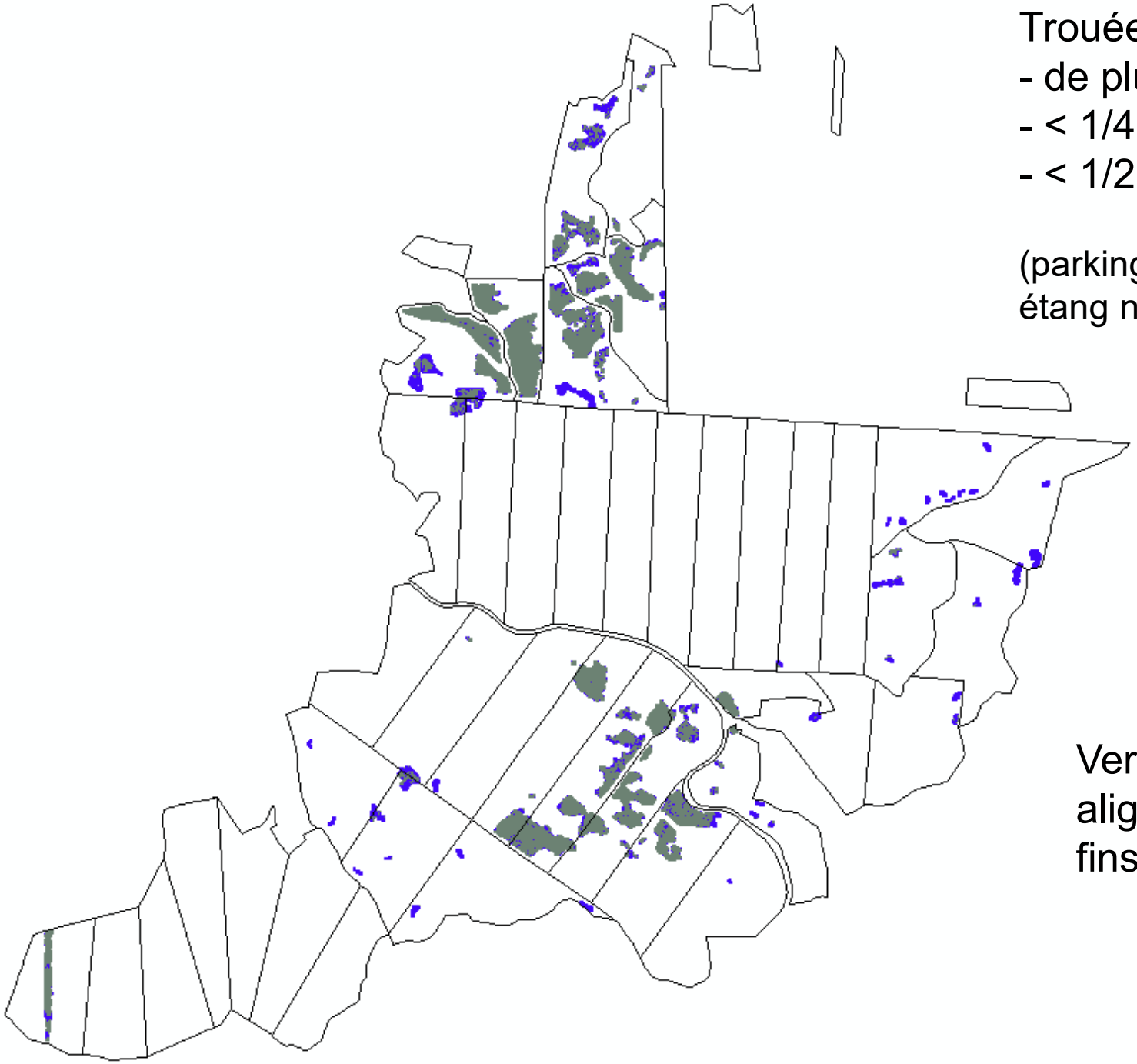
rdiv : 80 %

feu : 77 %

sap : 94 %

Kappa : 54 %

Résultats - Lidar dendrométrie Trouées potentielles



Trouées :
- de plus de 500m²
- < 1/4 Hpot : peu évoluées
- < 1/2 Hpot : évoluées

(parking, ligne électrique et étang non filtrés)

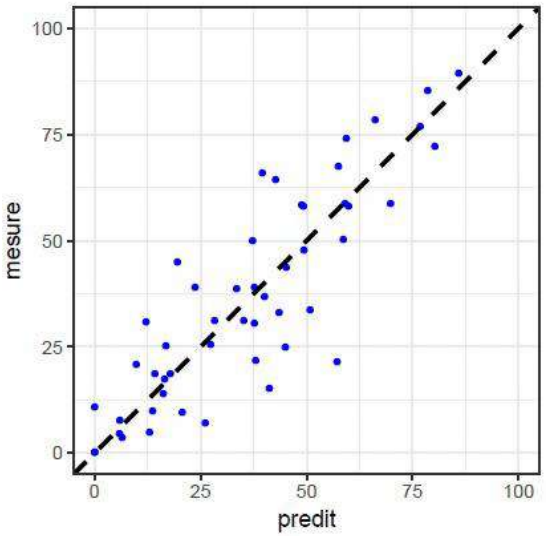
mares forestière pour certaines ?

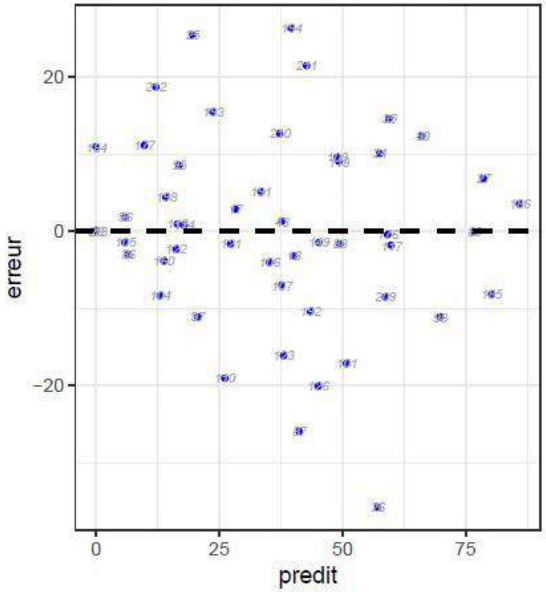
Version filtrée des alignements de pixels très fins (branches basses ?)

Résultats - Lidar dendrométrie Typologie peuplement

Essai en modélisant %BM – non reproductible systématiquement

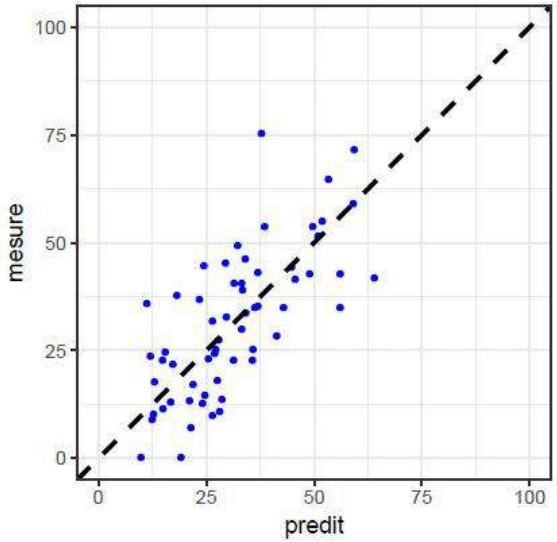
Pcent_GBM RX : *EQM : 12.3 (34%) – R2 : 0.72*

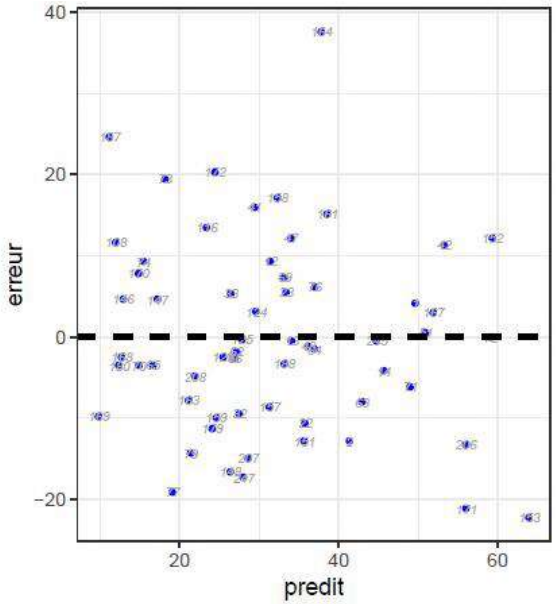


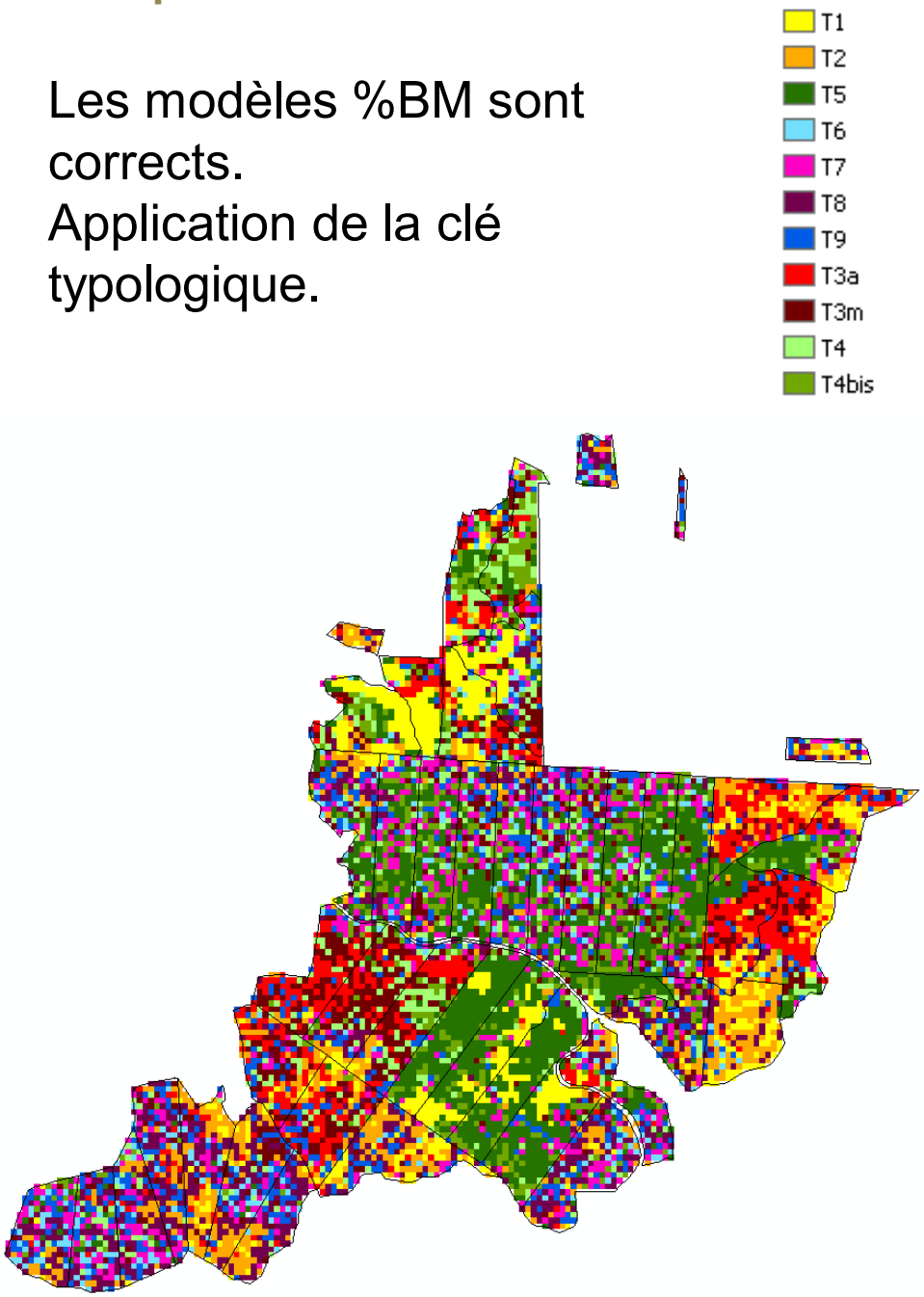


Les modèles %BM sont corrects.
Application de la clé typologique.

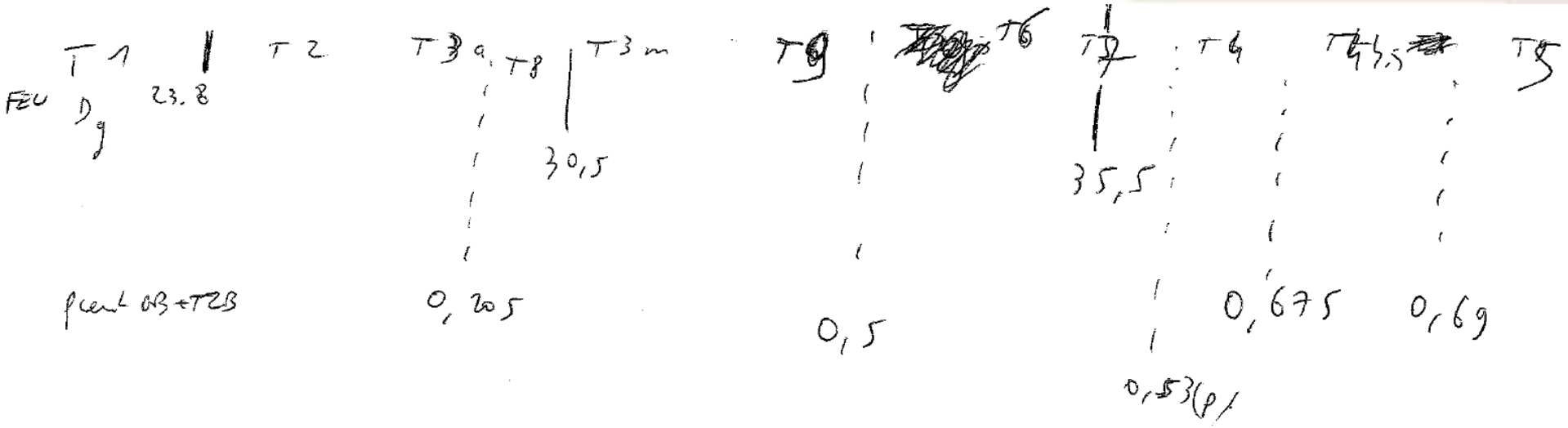
Pcent_GBM FEU : *EQM : 11.9 (38%) – R2 : 0.49*

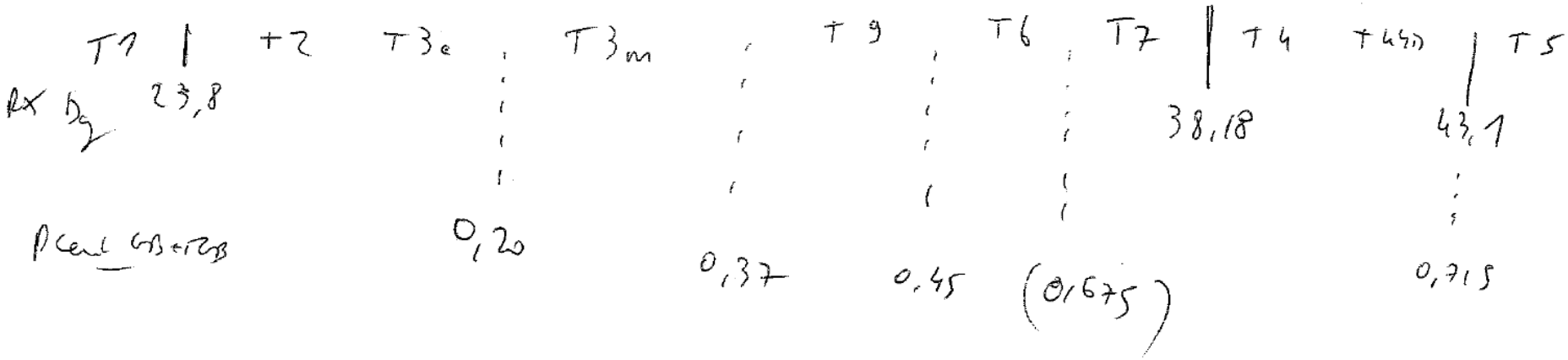


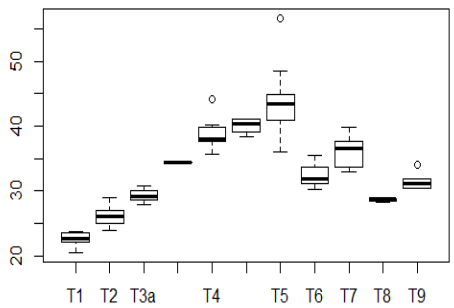


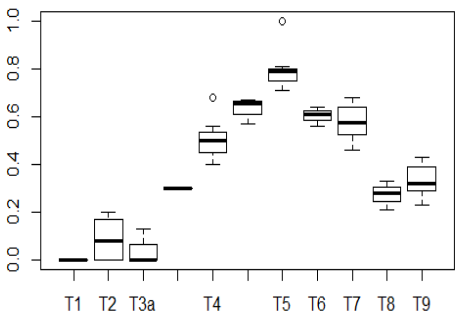


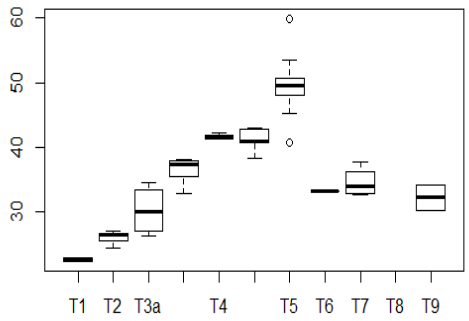
Résultats - Lidar dendrométrie Typologie peuplement

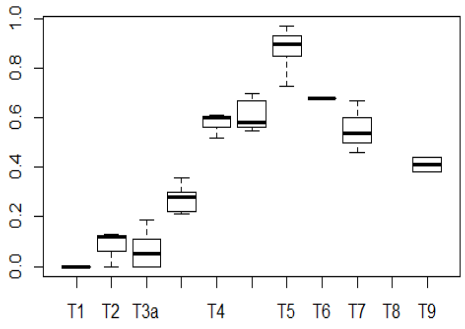




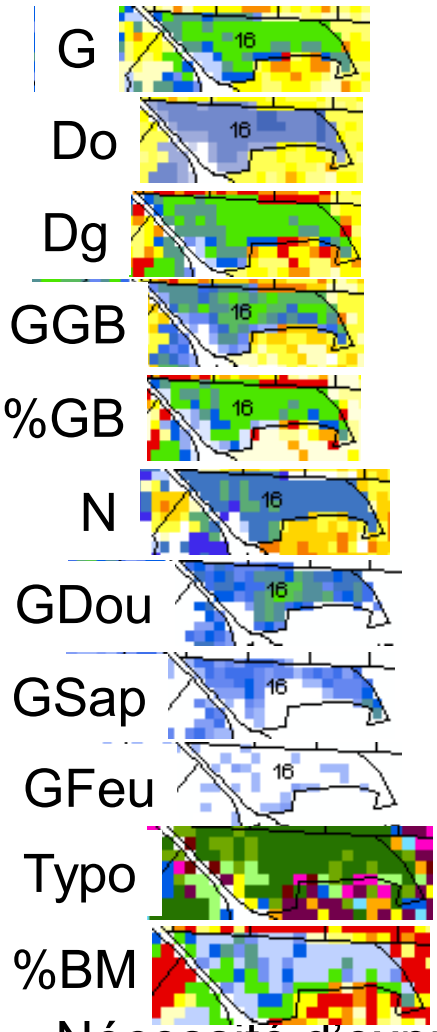








Résultats - Lidar dendrométrie – Utilisation – exemple P16



Les données chiffrées, cartographiques auraient elles aidé :

- Pour l'inscription à l'Etat d'Assiette ?
- Pour préparer le martelage ?
- Pour les décisions d'aménagement ?

	MEAN	objectif	atteinte objectif
G	33,8	20	irréaliste en rattrapage *un peu faible en équilibre ?*
Do	51,4	70	atteint dans 20 ans *sera dépassé*
Dg	41,4		
GGB	24,9	*DOU 13*	prélever GB
%GB	74%	DOU 65% SAP 56%	prélever GB
N	239		
Gdou	23,4	*20*	peu toucher au DOU
Gsap	9,3	0	prélever SAP
Gfeu	1,1		
typo	T5	IRR	
%BM	21%	DOU 25% SAP 30%	conserver BM
acct estimé	*8 m² / tot 8 ans*	*gestion lumière / ronce*	prélever acct déjà élevé /gestion lumière *capitalisation*

- Nécessité d'exprimer les objectifs dans le même langage que la donnée → %GB
- Prélever 2/3 SAP au Nord, un peu DOU au Sud, dans les 50 essentiellement
-Cohérent avec martelage effectué

En situation standard, on a l'essentiel des infos nécessaires

P16	perches	PB-BM	GB			perches	PB-BM	GB
G		2,2	4,0		N	2	23	20
dou		0,1	0,5		dou		1	2
sap		2,1	3,6		sap	1	22	18

+ : des erreurs connues

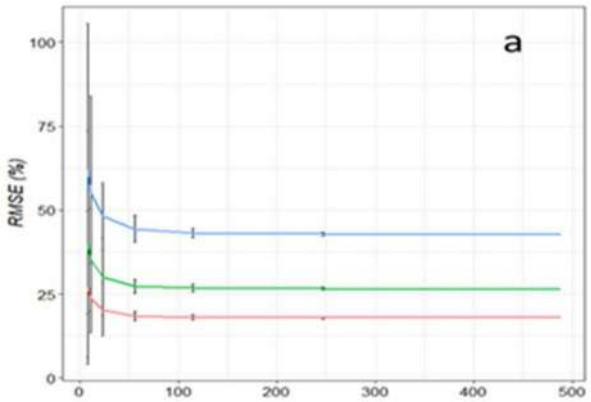
Les résultats : variables modélisables et erreurs

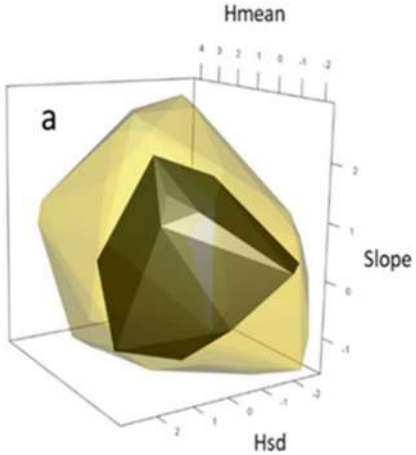
	Erreurs de prédiction au pixel de 7 ares	
Modèles	Contextes résineux	Contextes Feuillus
Hauteur dominante (H0)	0,4 à 1,4 m	0,7 à 1,4 m
Diamètre D0 ou Dg	2,5 à 6,0 cm	2,5 à 8,0 cm
% Fs / Rx en G	10 à 15%	10 à 15%
Surface terrière G	2,5 à 7,0 m2/ha (10 à 25%)	3,5 à 6,0 m2/ha (10 à 30%)
Surface terrière des GB	3,5 à 6,5 m2/ha (30 à 50 %)	2,5 à 6,0 m2/ha (30 à 60 %)
Densité de tiges / ha	50 à 180 t/ha (20 à 40%)	30 à 140 t/ha (15 à 40%)
Familles de structures	20 à 35 %	20 à 35 %

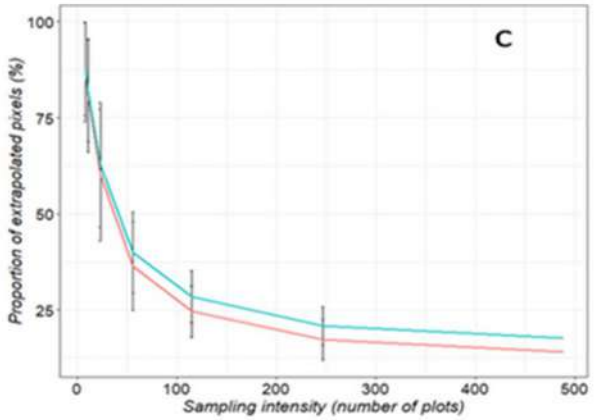
Très bon — Moyen — Bon

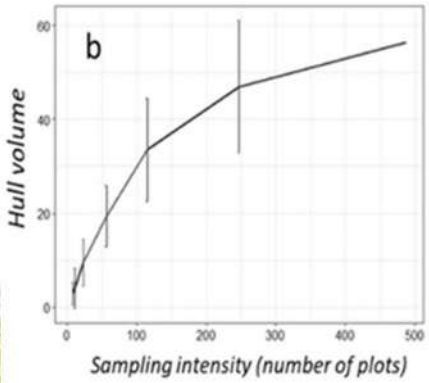
Des notions plus techniques : domaine de validité / extrapolation

inventaire	modèle
*on **estime** une population à partir d'un échantillon* *- théorème central-limite : la moyenne de moyennes ~ loi normale ($\bar{x}$ -> μ)* *- l'échantillon est aléatoire et sa **dimension** est liée à la **précision de l'estimation*** *- le plan d'échantillonnage est important* *Inférences sont déduites du plan d'échantillonnage* *- résultats asymptotiquement non-biaisés*	*on **prédit** un pixel* *- l'aléa vient des paramètres du modèle (pas de l'échantillon)* *- la **précision est liée au modèle**, pas au nombre de pixels* *- l'échantillonnage peut être **dirigé** (+ efficace)* *- Les inférences sont déduites du modèle (pas du plan d'échantillonnage)* *- biais locaux à craindre*









Encore des choses à développer pour bien cerner le domaine de validité des modèles et identifier les zones en extrapolation susceptibles de comporter des biais

Annexe1 - Positionnement du Lidar - erreurs

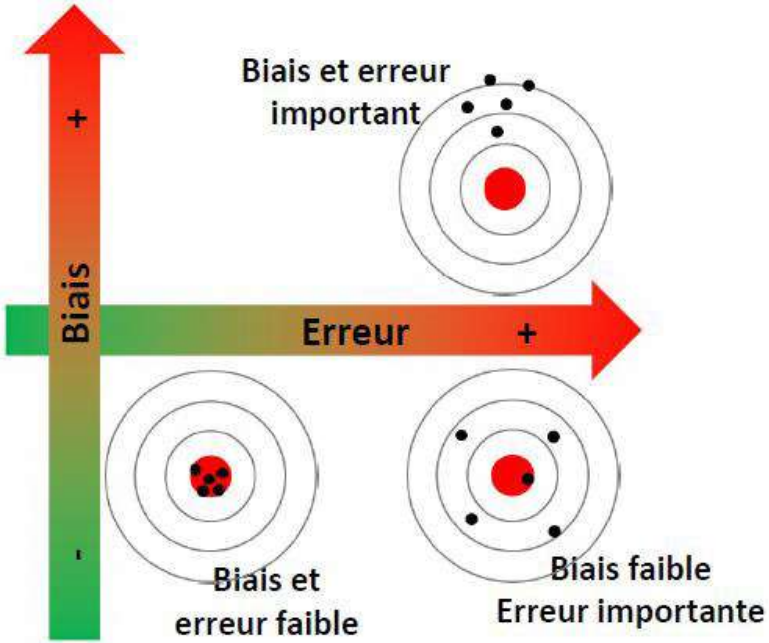
✓ Les erreurs des modèles de prédiction LiDAR

- A l'échelle de la placette (≈ 7 ares)
  - Faibles pour les diamètres *(ex. D0 de 2.3 à 6 cm)*, très faible pour les hauteurs *(ex. H0 de 0.7 à 1.4 m)*
  - Peuvent sembler élevées pour G *(de 3.3 à 9 m²/ha soit 13 à 26%)*
  - Variable pour les densités : tendance à sous estimer les fortes densités !
- A l'échelle du peuplement (≈ 1 ha)
  - Restent faibles pour les diamètres et les hauteurs
  - Diminuent significativement pour G
    - *Ex. Combe d'Aillon : 7.1 (16%) / placette → 3.9 (10%) / ha*
    - *Ex. Modane : 6.4 (18%) / placette → 4.3 (11%) / ha*

A relativiser / enjeux de production (ex D0 en feuillus qualité)

✓ Rappel des notions d'erreurs

- **Erreur** = exactitude *: écart entre la référence et l'estimation ou la prédiction (erreur quadratique moy)*
- **Biais** = écart systématique *: tendance de surestimation ou de sous estimation (moyenne des écarts)*
- **Erreur statistique** = erreur d'échantillonnage *: faible si nombre de placettes ↗ (détermine si le nombre de placettes est suffisant pour obtenir une bonne estimation en considérant que les mesures sont sans erreur)*



Annexe1 - Positionnement du Lidar / autres méthodes

✓ Comparaison des méthodes

- Avantages / Inconvénients

Méthode d'inventaire	Cartographie	Estimation / peuplement	Estimation / bloc	Suivi aménagement	Accroissements
LiDAR	OUI *Haute résolution (≈ 7a)*	OUI	OUI	OUI	NON
Relascope	Moyen si 1 pt/ha	NON	OUI	Moyen	NON
Inv. en plein	NON	OUI	OUI	Moyen	OUI *si +sieur inv.*
Inv. statistique	NON	NON	OUI	NON	OUI *si plac. permanente*

Données fournies par Lidar, Données aménagement manquantes

Paramètre forestier	Modélisation LiDAR ?	*Observation*
Hauteur dominante (H0)	**Oui**	
Surf. terrière (G)	**Oui**	
Surf. terrière gros bois (GGG)	**Oui**	
Volume (V)	**Oui**	*Si référence terrain disponible*
Diamètre moyen (Dg)	**Oui**	
Diamètre dominant (D0 ...)	**Oui**	
Densité (N)	**Oui**	*Qualité des résultats variable*

Paramètre forestier	Modélisation LiDAR ?	*Observation*
Famille d'essence (feuil/rés)	**Possible**	*Pas de distinctions entre les feuillus !*
Structure, typologie	**Non traité ici**	*Réalisable à la demande (dép. RDI)*
Suivi surf.jeunes peup (Ht BDR)	**Non traité ici**	*Réalisable à la demande (dép. RDI)*
Trouées	**Non traité ici**	*Réalisable à la demande (dép. RDI)*
Régénération sous couvert	**Non**	
Dégâts gibier ...	**Non**	
Bois mort	**Non**	

- ***En vert*** *: paramètre modélisable et intégré à la chaine de traitement actuelle*
- ***En orange*** *: paramètre modélisable mais non intégré à la chaine de traitement actuelle*
- ***En rouge*** *: paramètre non modélisable à partir de données LiDAR*