



# MOBIBOIS PYRLIM

Rapport de l'action

Novembre 2021



# Sommaire

Chapitre 1 INVENTAIRE DE LA ZONE ETUDIEE p 4

Chapitre 2 VALORISATION DES RESULTATS p 8

ANNEXES p10

## LE PROJET

Le projet « MOBIBOIS PYRLIM » avait pour objectif principal de définir une méthodologie pour mobiliser du bois dans des zones où il n'était pas ou peu mobilisé. L'idée était de pouvoir tirer parti des nouvelles technologies telles que le LIDAR pour obtenir rapidement des données précises en terme de relief, desserte, peuplements afin d'offrir un support de qualité pour l'animation territoriale auprès des propriétaires et des élus.

## LA ZONE RETENUE

2 zones ont été retenues en région Nouvelle-Aquitaine, totalisant 20 000 ha :

- Pyrénées-Atlantiques : secteur de moyenne montagne où la forêt publique est prédominante. 11 communes sont concernées : Arudy, Bielle, Bilhères, Buziet, Izeste, Escot, Eysus, Herrère, Lurbe-Saint-Christau, Ogeu-les-Bains, et Oloron-Sainte-Marie.
- En Corrèze : secteur de Xantrie où la forêt privée est majoritaire. 11 communes concernées : Albussac, Beynat, Chenailler-Mascheix, Le Pescher, Lostanges, Mémoire, Monceaux-sur-Dordogne, Neuville, Saint-Hilaire-Taurieux, Sérilhac et Tudeils.

Chaque zone a été sélectionnée pour être complémentaire et maximiser la surface forestière présente. Sur les 20 000 ha survolés, il y a 11741 ha de forêts.

## LES ACTEURS

L'Office National des Forêts et le Centre National de la Propriété Forestière de Nouvelle Aquitaine se sont associés pour acquérir les données LIDAR sur la zone d'étude et réaliser l'animation auprès des propriétaires et des acteurs économiques.

Ils ont bénéficié du soutien financier de l'Etat (DRAAF Nouvelle-Aquitaine) et de la Région Nouvelle-Aquitaine.

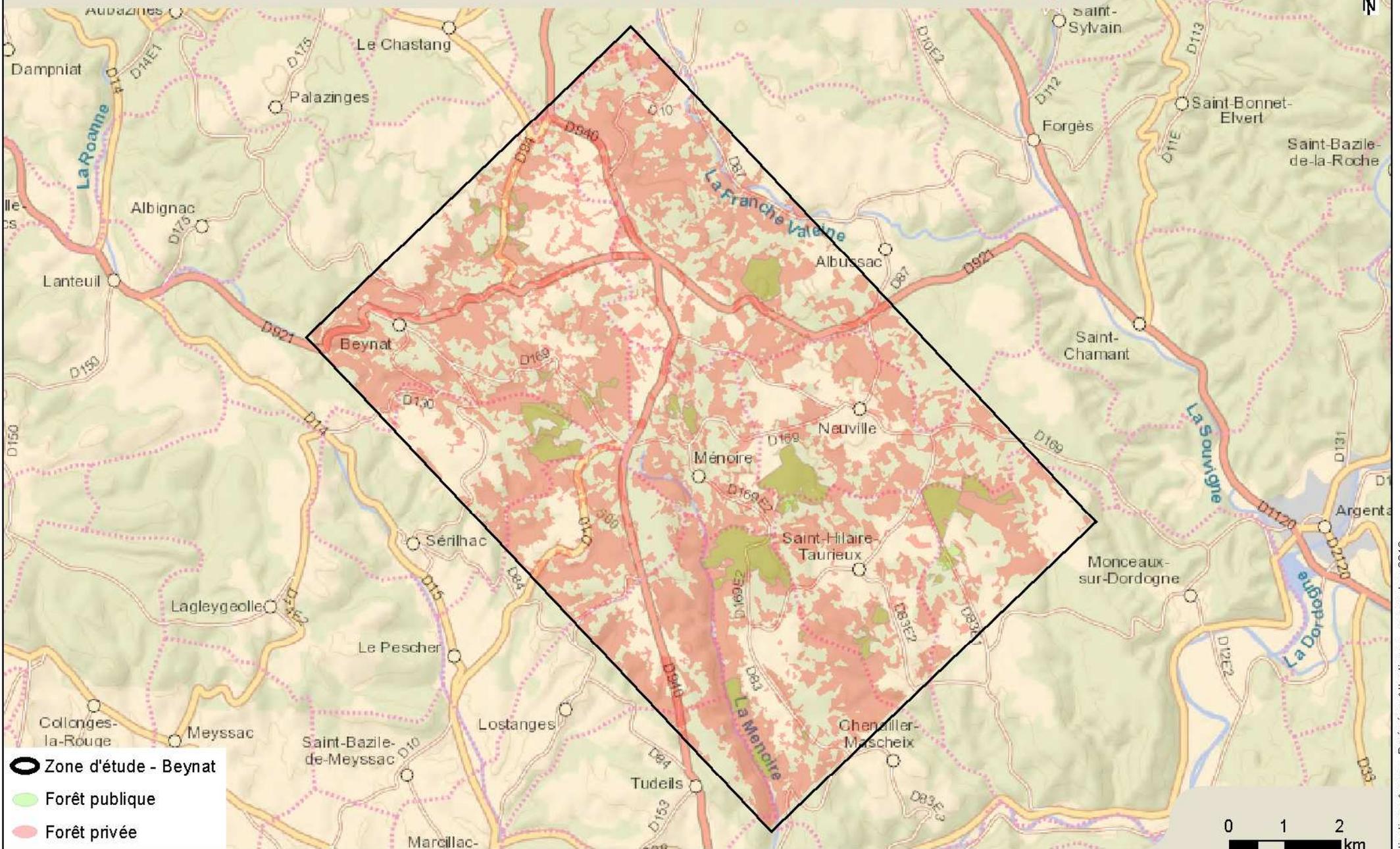
## LES RESULTATS

L'étude a montré que la technologie LIDAR permettait d'obtenir des données fiables en un temps record moyennant un investissement modeste en inventaire. Ce qui permet de concentrer son temps sur l'animation auprès des acteurs du territoire. Un deuxième enseignement est que les synergies forêt publiques et privées sont possibles.

Enfin une animation et un suivi sur le moyen terme sont nécessaires pour concrétiser les chantiers.

# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Localisation de la zone d'étude de Beynat







# L'INVENTAIRE DE LA ZONE ETUDIEE

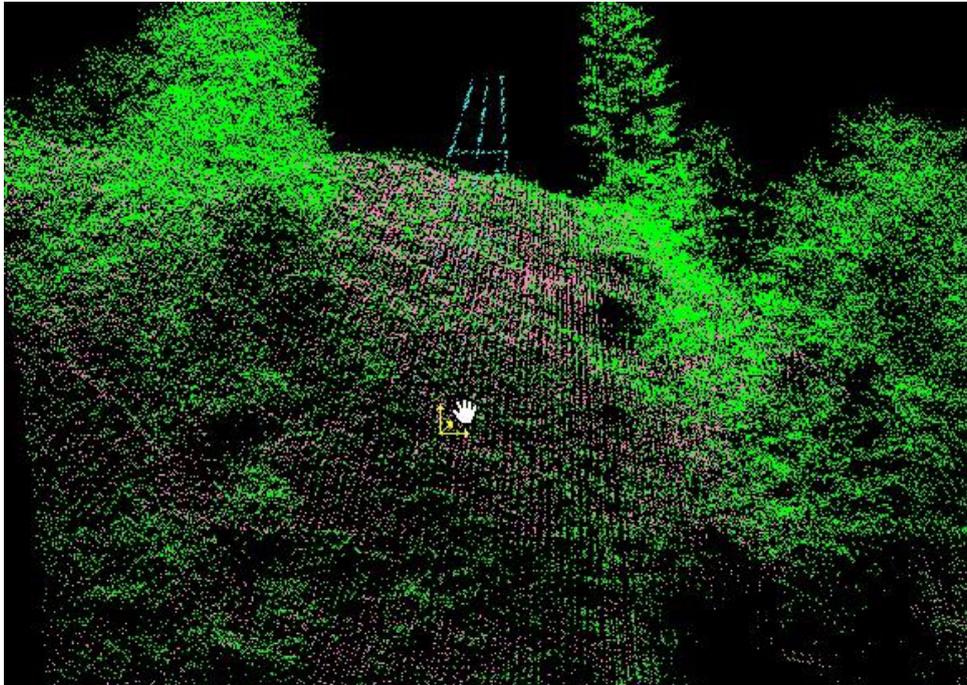
Technologie LIDAR

## L'ACQUISITION DES DONNEES

La prestation a été confiée à la Société SETIS après une procédure de mise en concurrence conforme à la Commande publique.

Le vol d'acquisition s'est déroulé les 26 & 27 octobre 2019 et a permis d'obtenir :

- Un nuage de points en 3D à la densité de 26 pts/m<sup>2</sup> (minimum 10 demandé)
- Des modèles numériques : Terrain, Hauteur

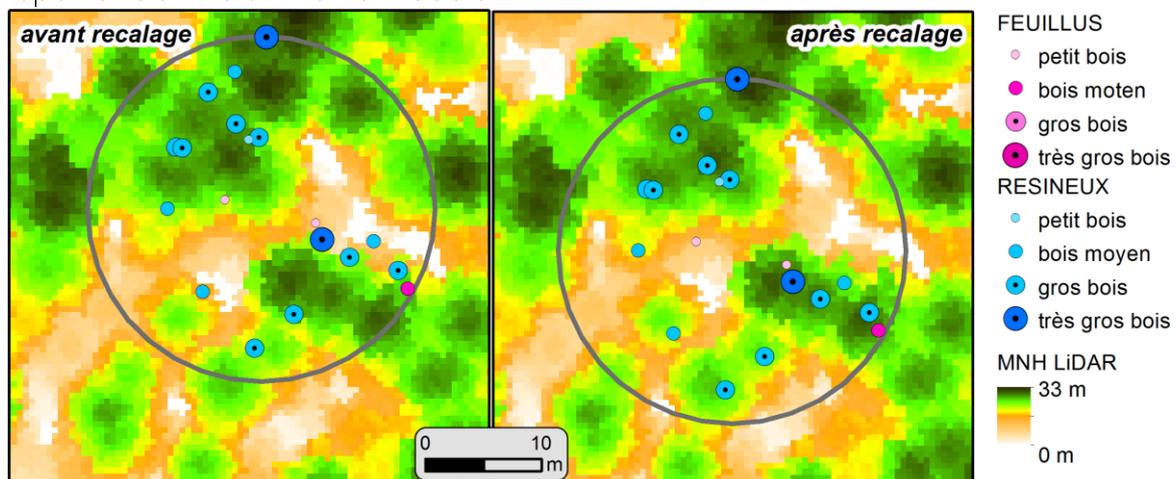


*Rendu du nuage de point permettant de distinguer une emprise de ligne électrique au milieu d'un versant forestier.*

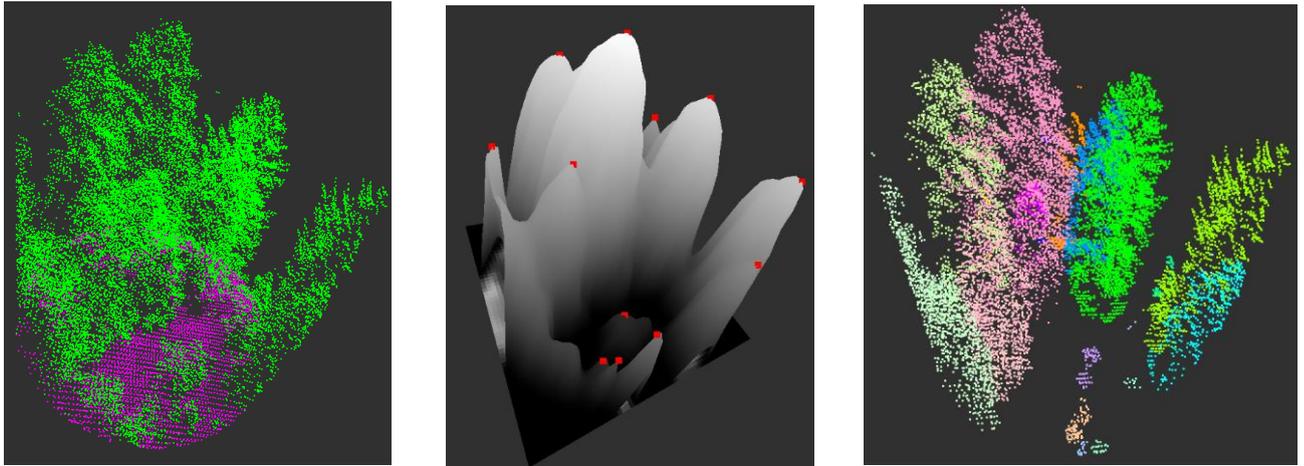
## LA MODELISATION DES PARAMETRES FORESTIERS

Une phase d'inventaire de terrain a été nécessaire afin de calibrer le modèle. 250 placettes de mesures précises ont été réalisées sur les 20 000 ha.

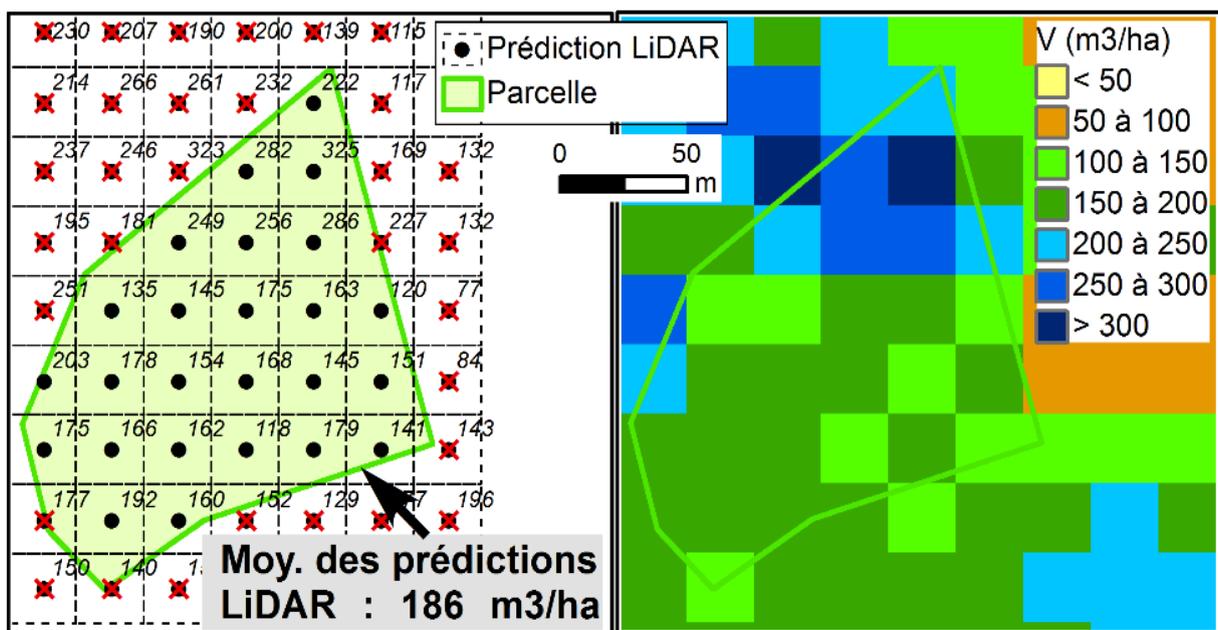
Sur chacune des placettes, les dimensions et l'emplacement de chaque arbre a été répertorié afin d'affiner le modèle :



Enfin une méthode de détection de chaque arbre a été mise au point :



Grâce à ces modèles calibrés pour la zone d'étude, le passage à la carte (SIG) est possible :



Enfin des analyses statistiques poussées ont été menées afin de valider la précision des données et leur utilisation. Il en ressort que :

- En Corrèze : les données en surface terrière et le % de gros bois sont fiables. Les données en diamètre moyen et dominant sont de bonne qualité, la carte des hauteurs dominantes des peuplements est utilisable, le LIDAR différencie bien les feuillus des résineux et peut également faire la différence entre les pins et les autres résineux. Par contre les données de densités ne sont pas fiables, elles n'ont pas été restituées.
- Dans les Pyrénées Atlantiques: les données en surface terrière sont moins précises qu'en Corrèze mais restent suffisamment fiables, tout comme le % de gros bois. Les données en terme de diamètres dominants sont de bonne qualité

et celles sur les hauteurs dominantes sont utilisables. Comme en Corrèze le LIDAR arrive bien à faire la distinction feuillus / résineux mais les données en densités ne sont pas utilisables.

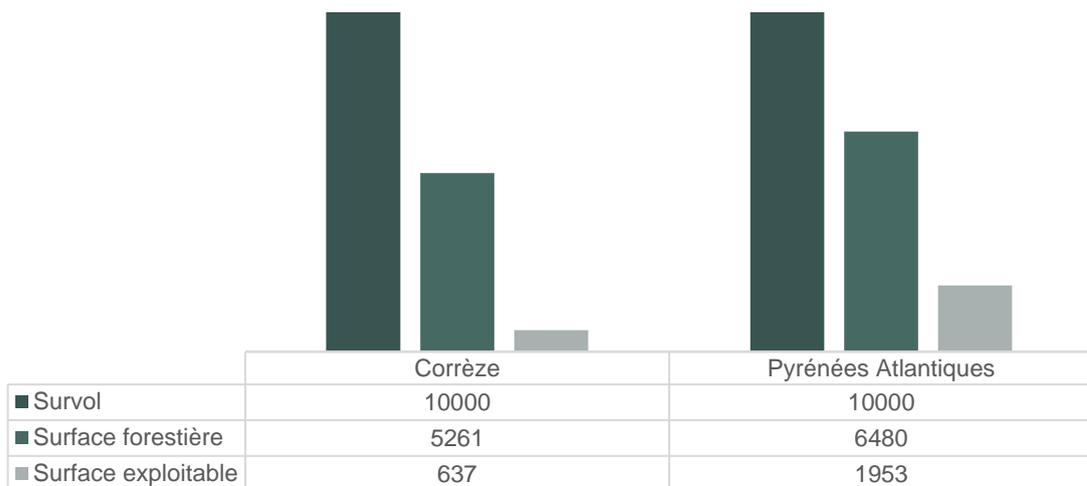
La combinaison de ces paramètres forestiers permet d'avoir une information géolocalisée sur le potentiel de chaque zone. L'étude ayant pour but de mobiliser du bois supplémentaire, nous nous sommes concentrés sur les peuplements « mobilisables », c'est-à-dire avec les caractéristiques suivantes :

- Surface > 1 ha
- Hauteur > 20 m
- Capital sur pied > 25 m<sup>2</sup>/ha
- Pente < 80 %

Le potentiel de la zone d'étude est de 2590 ha de forêts susceptibles d'exploitation dans les conditions économiques actuelles.

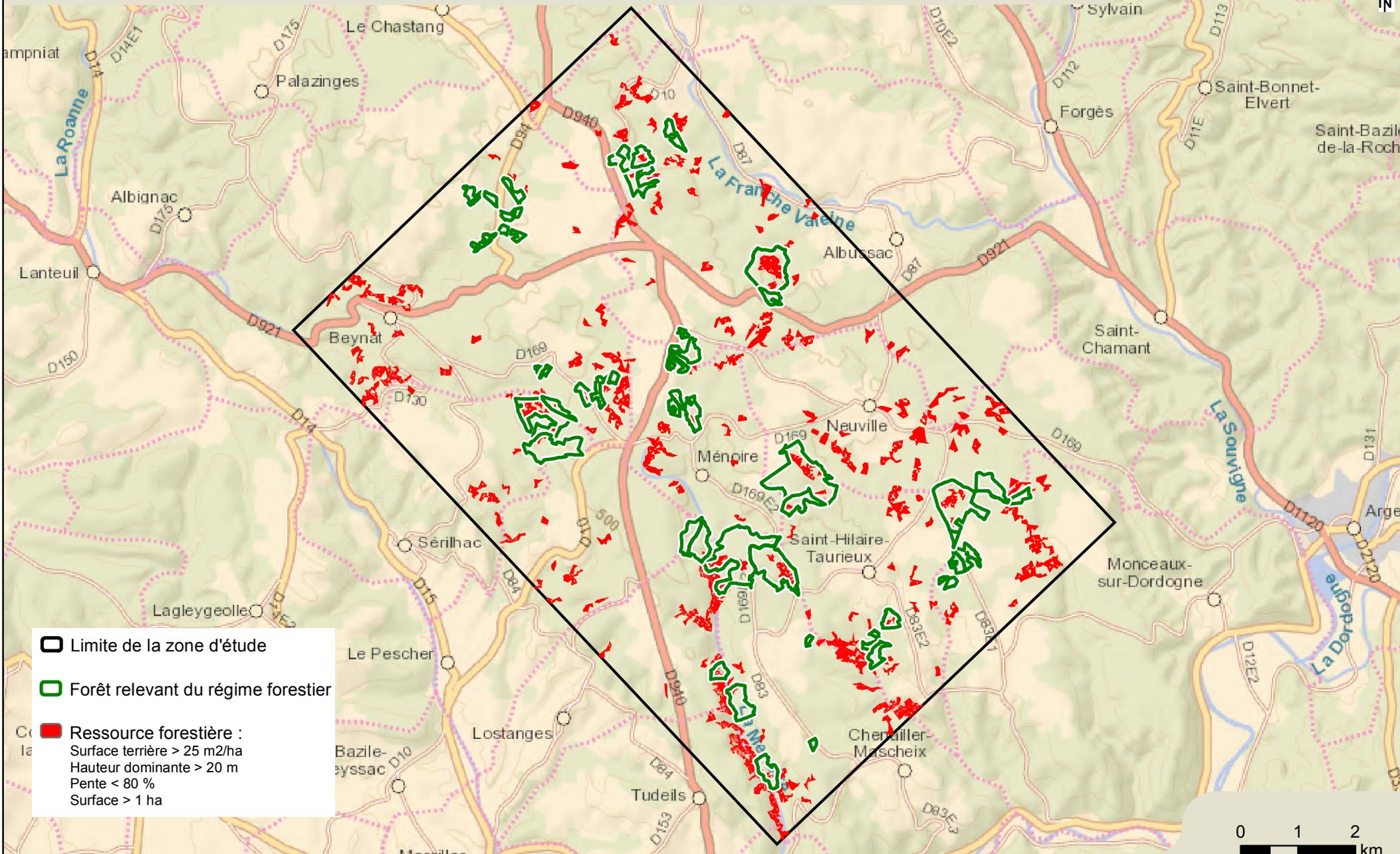
En résumé le LIDAR permet de concentrer les efforts d'animation sur les zones les plus riches en bois sans avoir à passer par une phase d'enquête de terrain.

Potentiel de la zone étudiée (en ha)



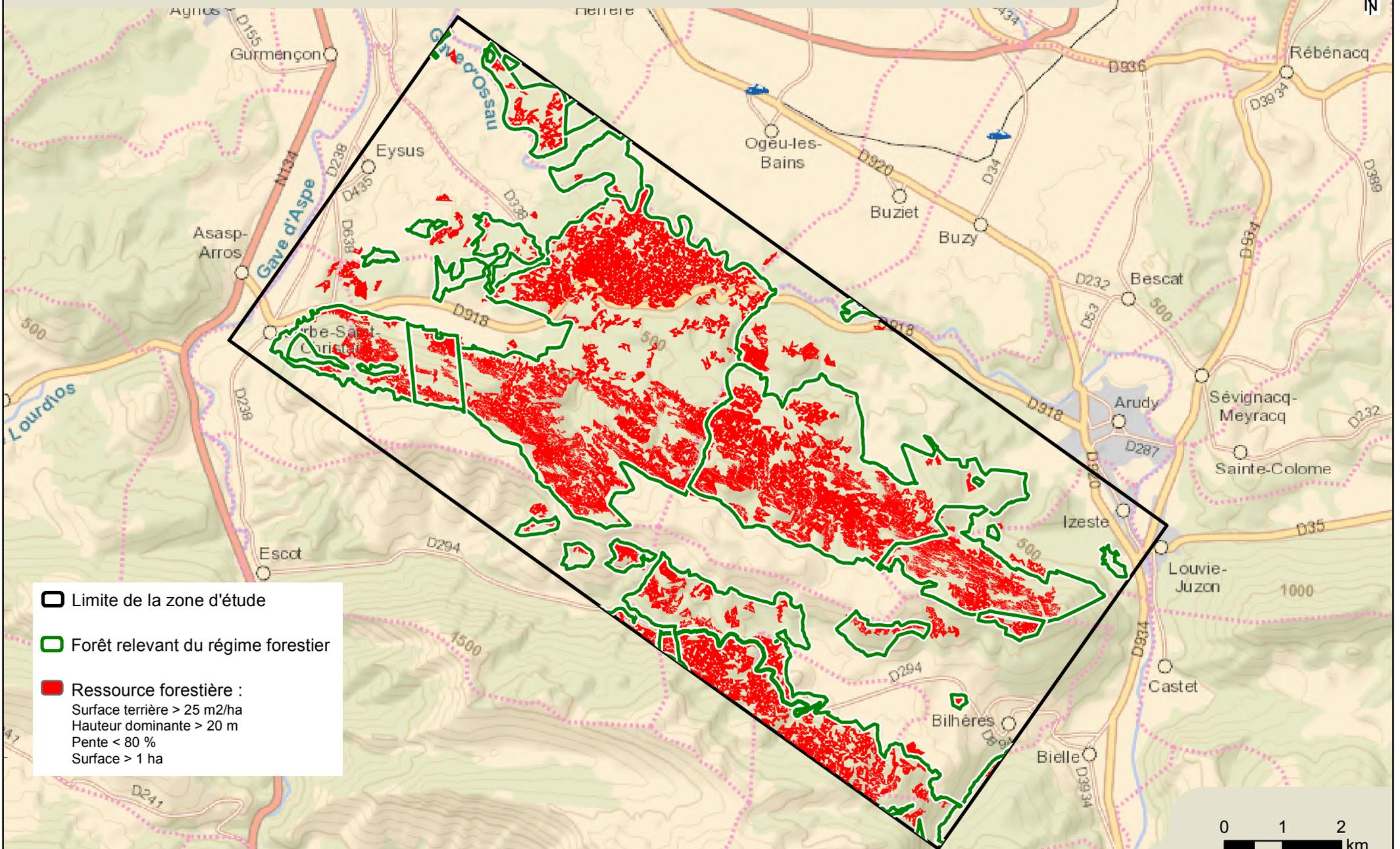
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Localisation de la ressource forestière - Beynat



# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Localisation de la ressource forestière - Oloron-Ste-Marie





# VALORISATION DES RESULTATS

## Chantiers d'exploitation

## METHODE D'ANIMATION

Dès le printemps 2020, le CNPF a lancé l'animation par courrier auprès des 22 communes concernées par le projet d'une part et auprès de 1400 propriétaires forestiers d'autre part (1000 en Corrèze, 400 en Pyrénées Atlantiques). Cette phase de projection a conduit à la réalisation de diagnostics forestiers en forêt privée :

- Corrèze : 35 diagnostics pour 202 ha
- Pyrénées-Atlantiques : 68 diagnostics pour 270 ha.

Ensuite, le CRPF a tiré parti de la cartographie des zones potentielles en les croisant avec la proximité des forêts communales et des programmes de coupes prévues. Cela a permis de concentrer l'effort d'animation (relances propriétaires). Cela a permis de définir 7 zones prioritaires d'animation dans les Pyrénées-Atlantiques et de réaliser une animation concentrée sur 2 communes forestières en Corrèze.

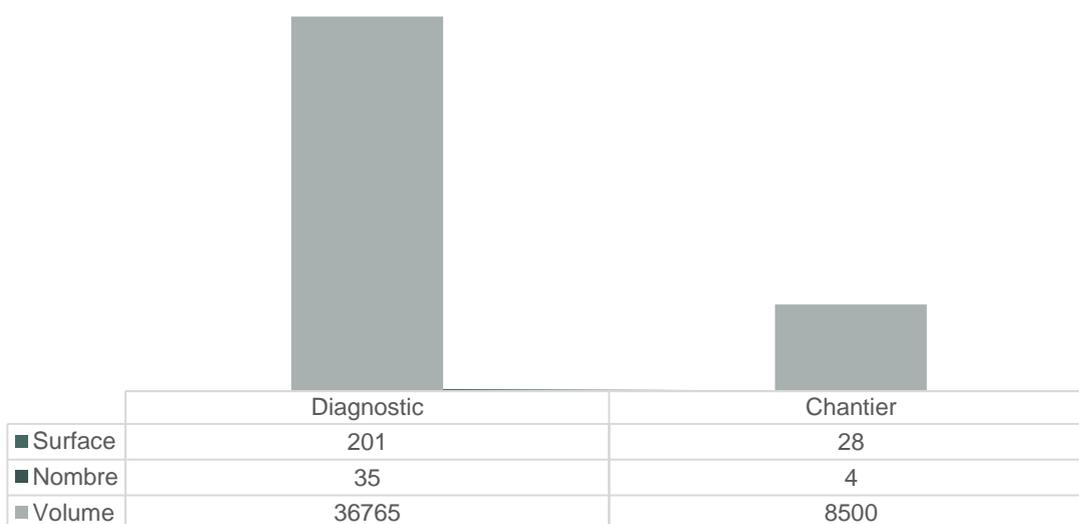
Dans les Pyrénées-Atlantiques, 2 réunions d'informations auprès des élus ont été organisées en septembre 2020 et mai 2021. Le but étant d'informer les élus de la démarche en cours sur leur territoire et de les solliciter en tant « qu'aménageur » de leur territoire.

Enfin des réunions de propriétaires ont été organisées en mai 2021.

## LES RESULTATS

En Corrèze, l'effort d'animation sur les communes d'Albussac et de Serilhac a permis de détecter 28 ha de chantiers regroupés pour 4 propriétaires totalisant 8500 m<sup>3</sup>. Cela représente un taux de réussite de 14% (en surface) et 23 % en volume qui est nettement au-dessus des retours observés dans d'autre démarche d'animation.

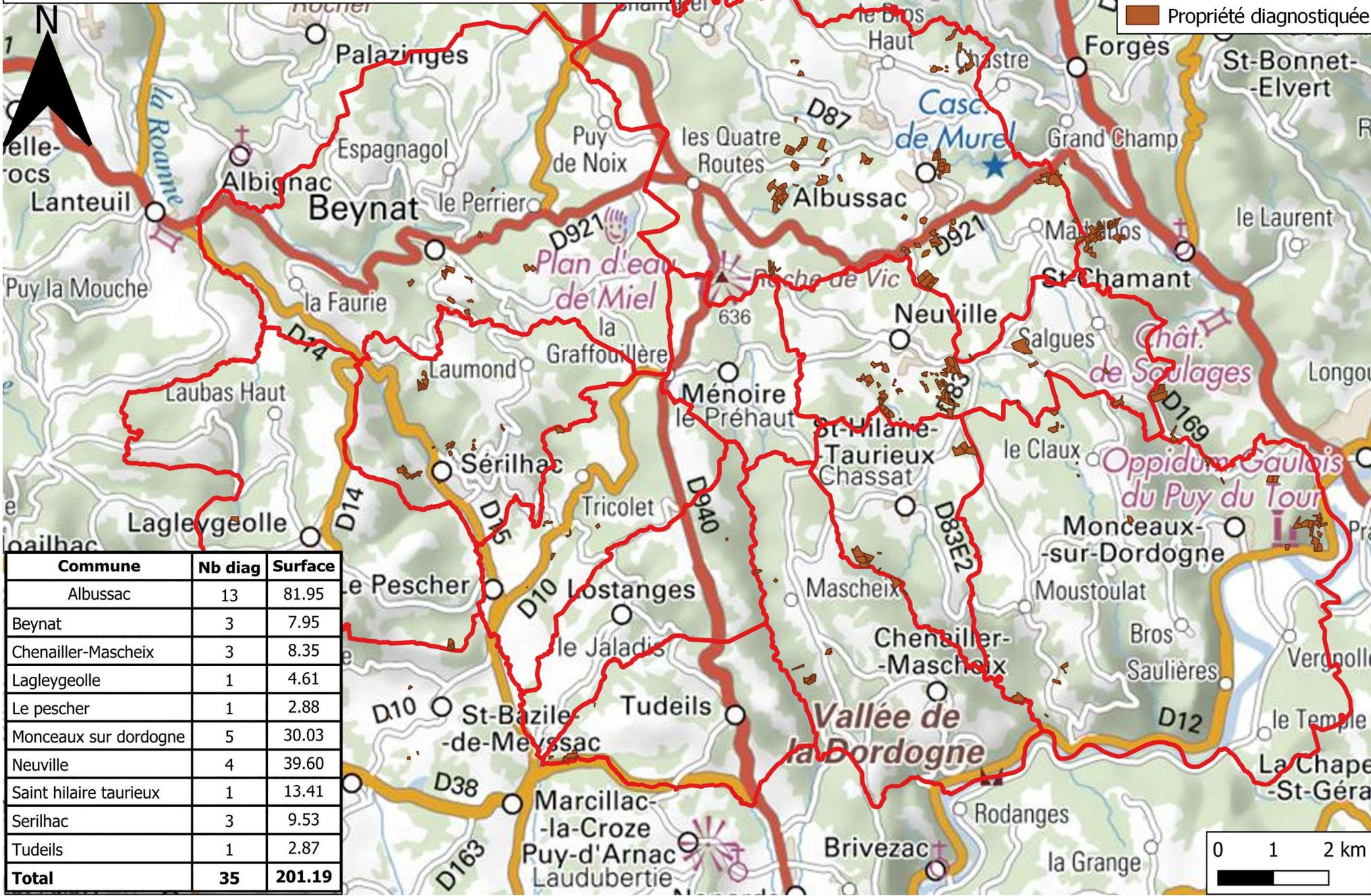
Efficacité de l'animation en Corrèze (en m<sup>3</sup>)



**Carte des diagnostics MOBIBOIS réalisés en 2020  
(36 765 m3 potentiellement mobilisables)**

**Légende**

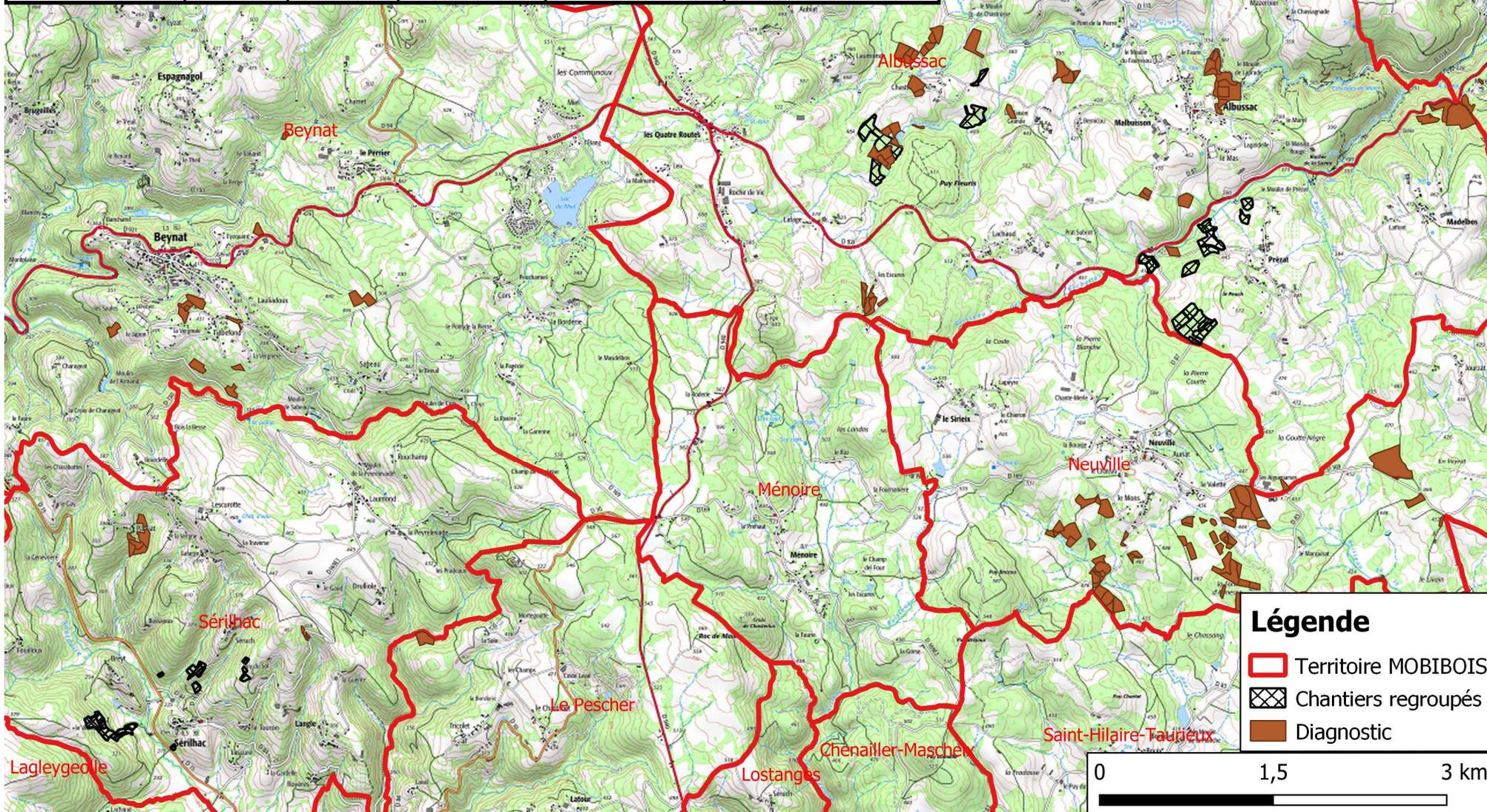
- Territoire MOBIBOIS
- Propriété diagnostiquée



Commune	Nb diag	Surface
Albussac	13	81.95
Beynat	3	7.95
Chenailler-Mascheix	3	8.35
Lagleygeolle	1	4.61
Le pescher	1	2.88
Monceaux sur dordogne	5	30.03
Neuville	4	39.60
Saint hilaire taurieux	1	13.41
Serilhac	3	9.53
Tudeils	1	2.87
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>201.19</b>

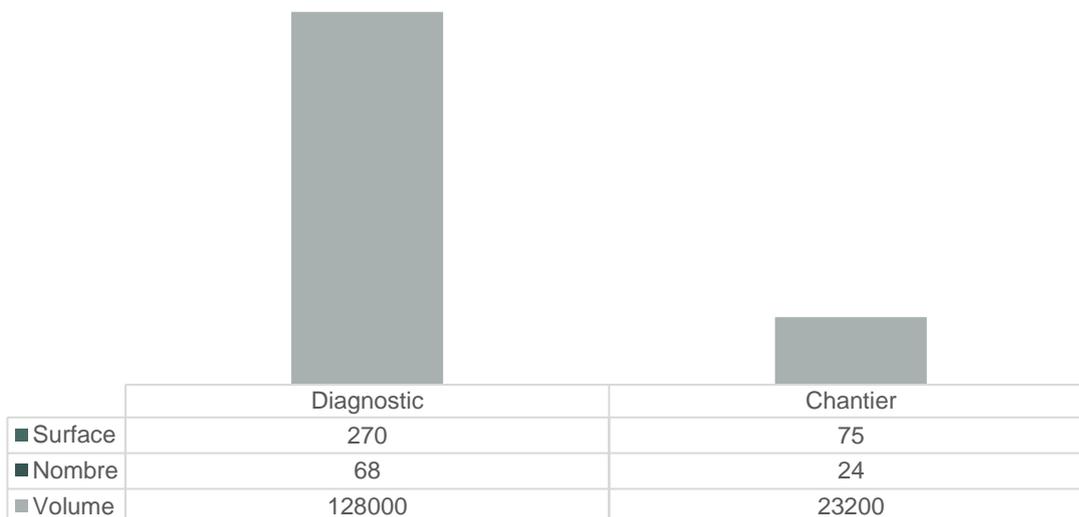
# Carte des chantiers regroupés dans le cadre de MOBIBOIS en 2020 (8 562 m<sup>3</sup> potentiellement mobilisés)

Propriétaire	Commune	Surface CR	Surface Amélio	Vol CR mobilisable	Vol Amélio Mobilisable
Deslouis	Albussac	3.17	0	951	0
Indivision Poulvelarie	Albussac	8.34	0	2502	0
Maisonneuve	Albussac	9.91	3.54	2973	354
Ralite	Serilhac	5.94	0	1782	0



Dans les Pyrénées-Atlantiques, 75 ha de chantiers potentiels ont été visités chez 24 propriétaires privés totalisant 13800 m<sup>3</sup> mobilisables auxquels il faut ajouter 9400 m<sup>3</sup> conditionnés par une création de desserte. Cela représente un taux de réussite de 28% en surface et de 18% en volume.

Efficacité de l'animation en Pyrénées-Atlantiques (en m<sup>3</sup>)

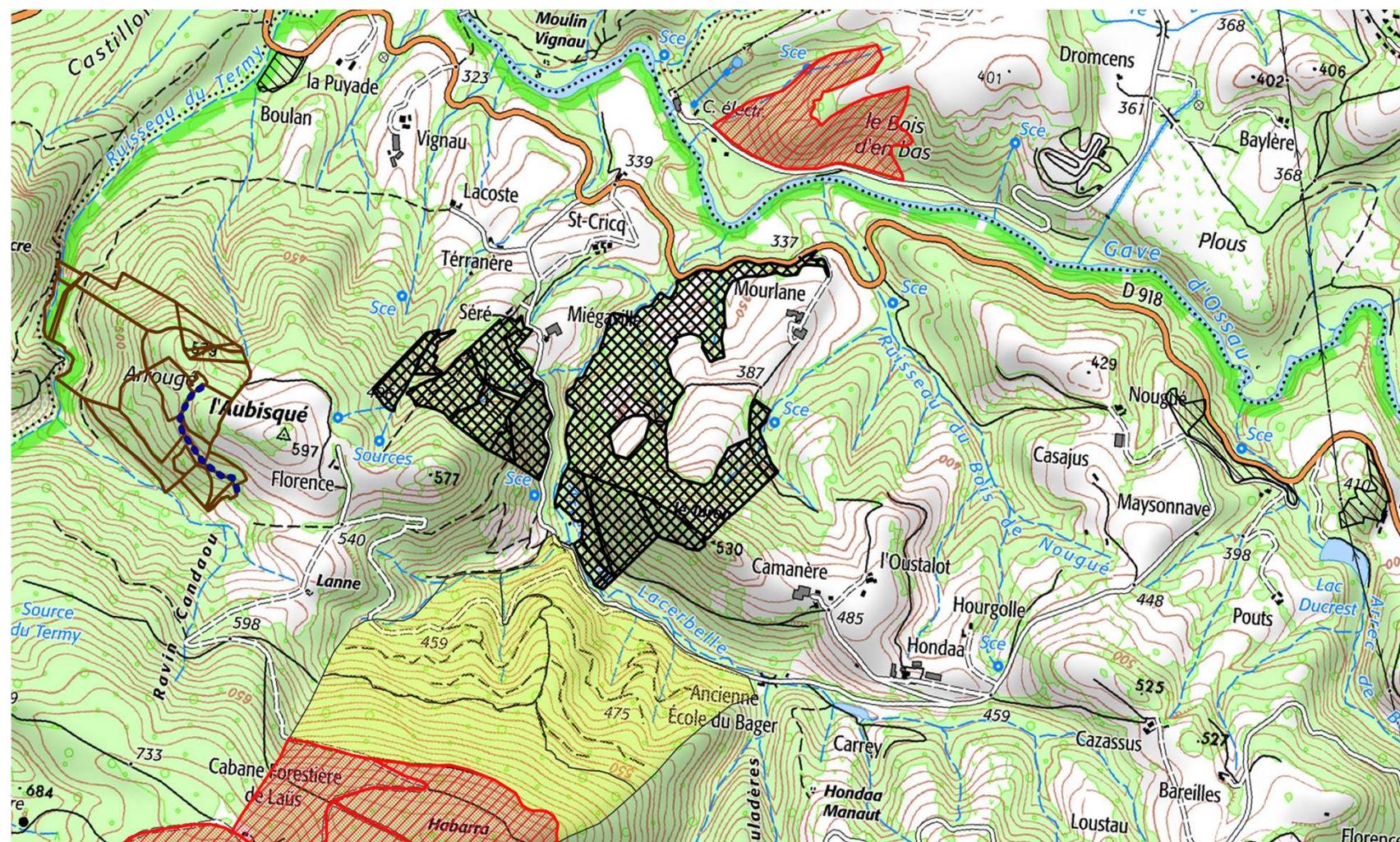


Les volumes mobilisables ont aussi concerné les forêts communales, dans une logique de massification des offres. A ce titre, une proposition d'achat de coupe plusieurs fois invendue en forêt communale d'Arudy a pu être obtenue grâce à la proposition d'achat de bois en forêt privée.

Une autre possibilité offerte par les données LIDAR en terme d'animation est celle d'apporter des données plus fiables au propriétaire pour la mobilisation des bois par câble aérien. Grâce à cette étude, un chantier d'exploitation par câble a été proposé à la commune d'Oloron dans le cadre de la révision de son plan d'aménagement forestier. Ce chantier permettra d'exploiter 1500 m<sup>3</sup> sur 12 ha.

En conclusion plus de 30 000 m<sup>3</sup> de bois supplémentaires ont été détectés grâce aux données LIDAR et à l'animation ciblée qui s'est déroulée sur une année malgré les conditions sanitaires.

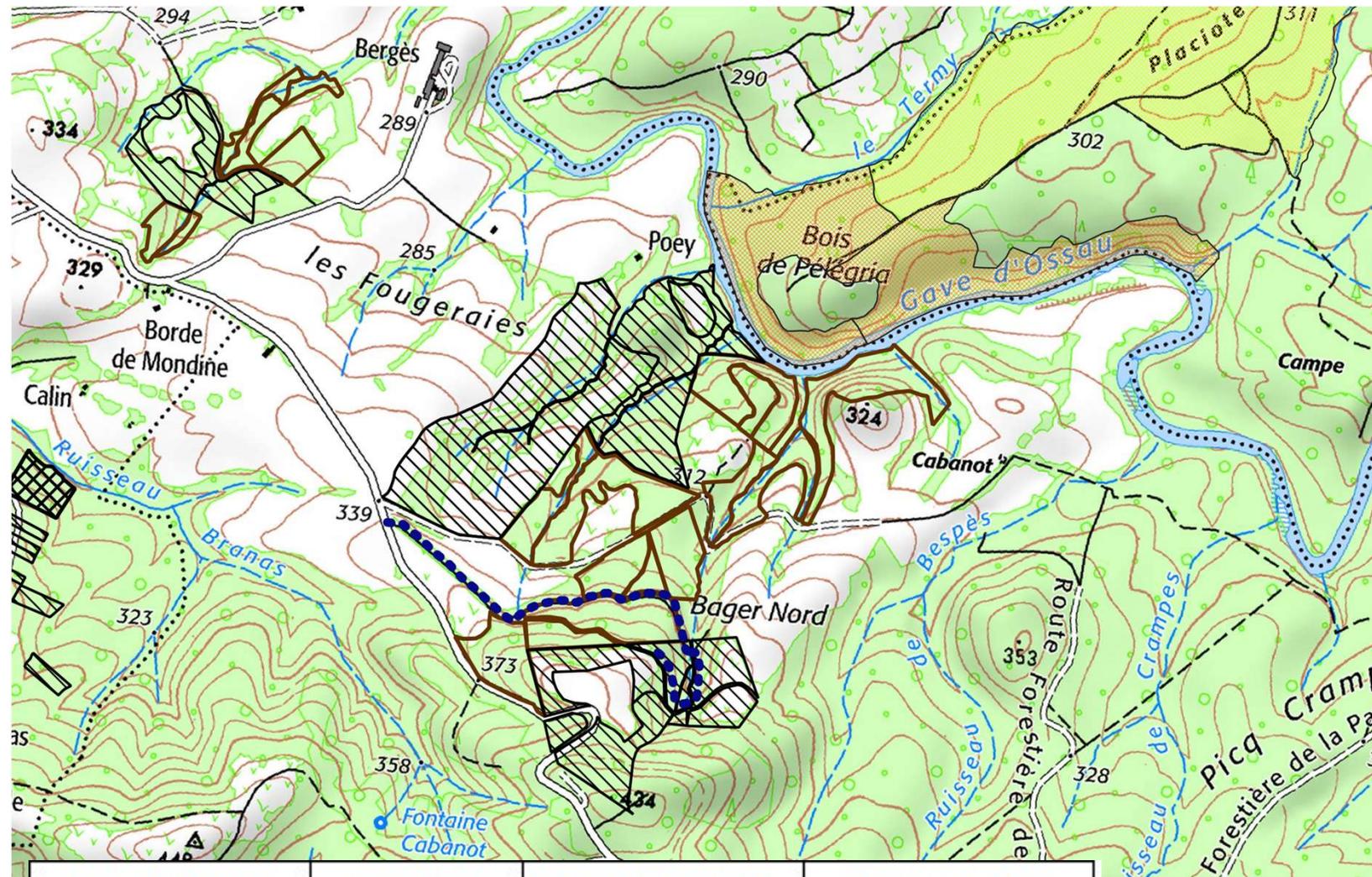
# Arudy : Aubisque



-  Diagnostic effectué
-  Bois mobilisé
-  Bois Mobilisable
-  Création de Piste de débarbage
-  Rehabilitation de Piste de Débardage
-  Parcelles communales
-  coupes en 2021
-  coupes vendues en 2022
-  coupes vendues en 2023

Nbre propriétaires	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m³)	Bois mobilisé (m³)
4	42	3400	100
Forêt communale		870	

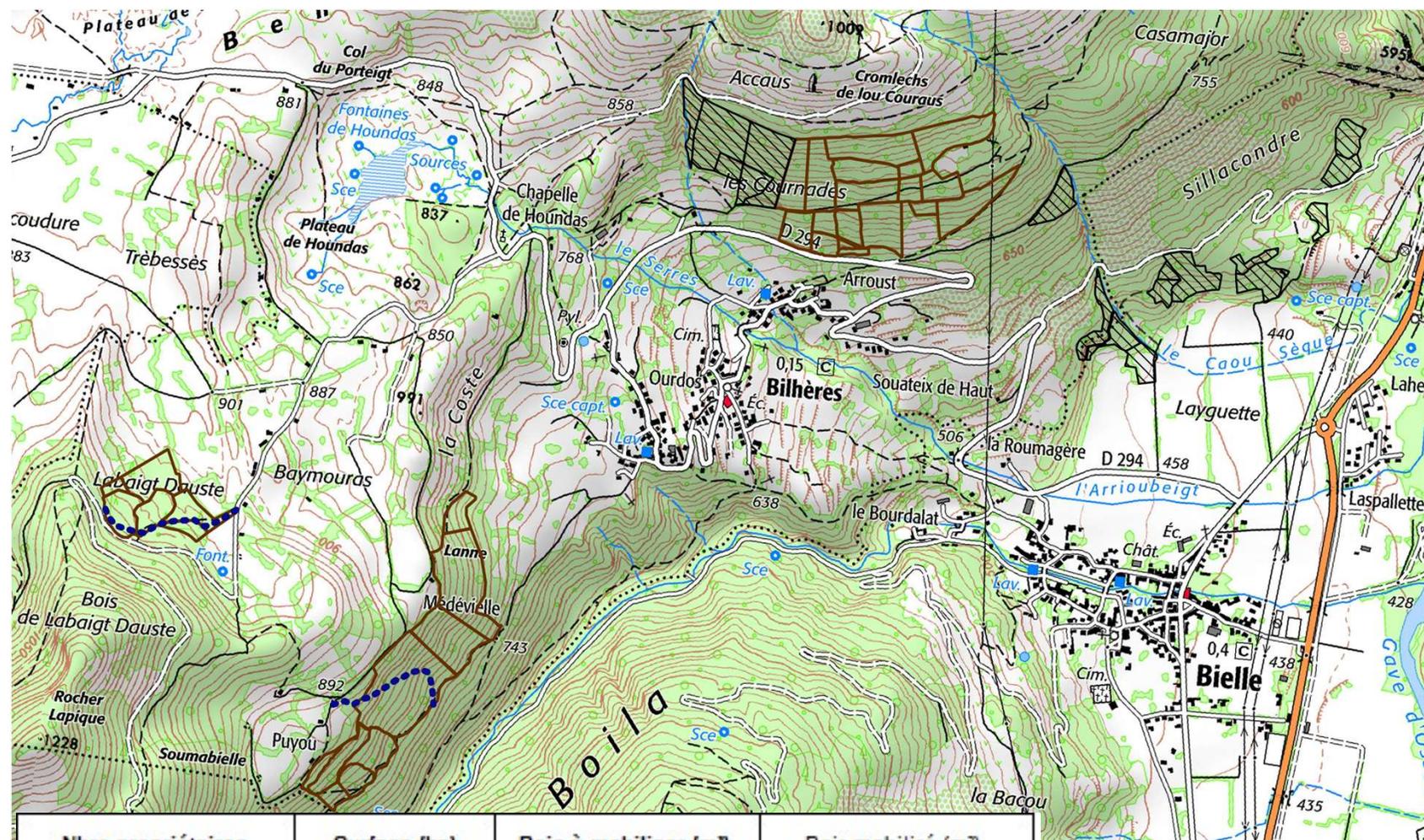
# Oloron : Bager Nord



-  Diagnostic effectué
-  Bois mobilisé
-  Bois Mobilisable
-  Création de Piste de débardage
-  Rehabilitation de Piste de Débardage
-  Parcelles communales
-  coupes en 2021
-  coupes vendues en 2022
-  coupes vendues en 2023

Nbre propriétaires	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m³)	Bois mobilisé (m³)
4	9	1255	
	41	2460	Bager Nord
Forêt communale		736	

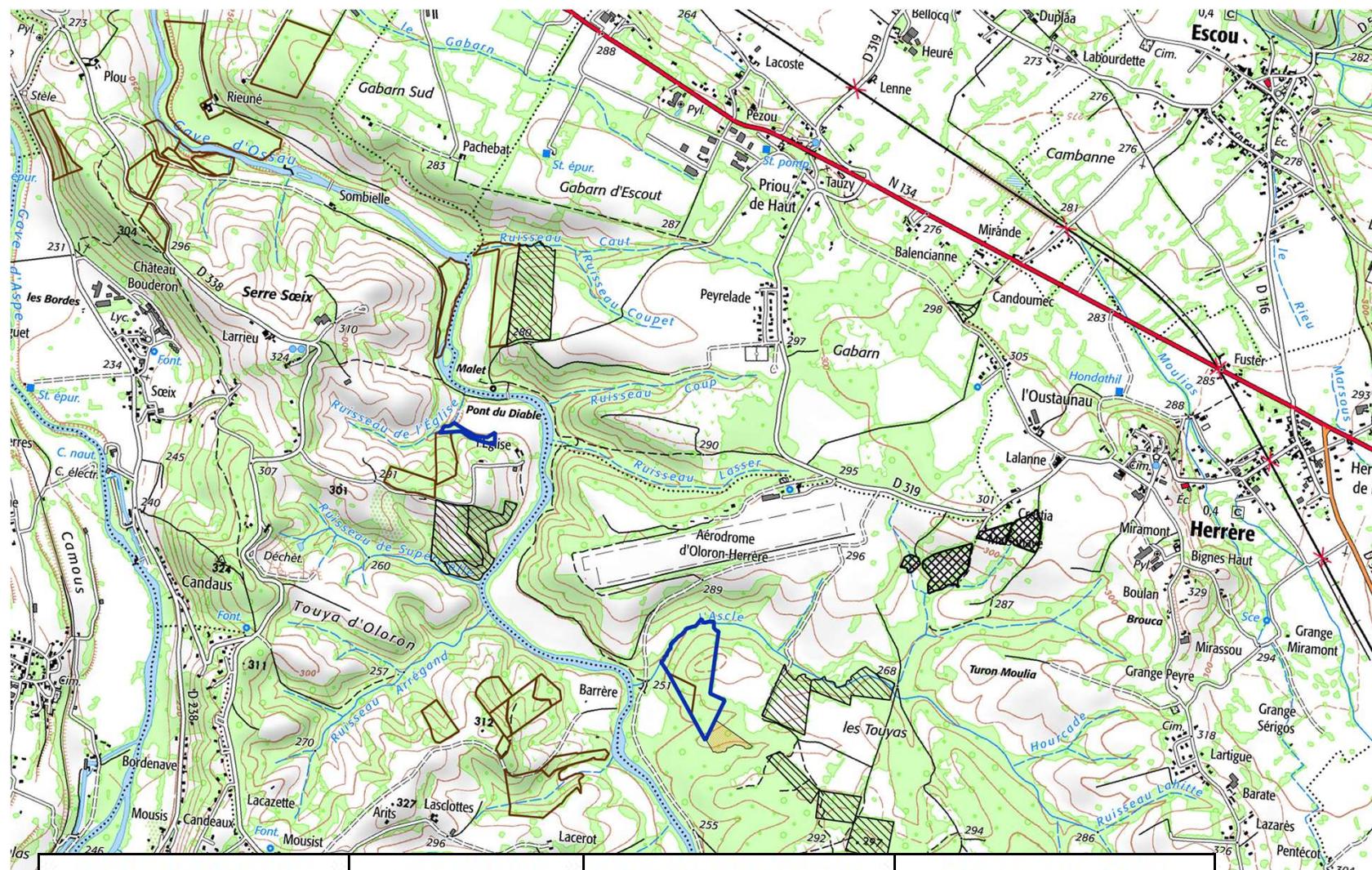
# Bilhères-en-Ossau



Nbre propriétaires	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m³)	Bois mobilisé (m³)
3	5	500 t+50 m³	

Zone	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m³)	Bois mobilisé (m³)
Labaigt-Dauste	5	426	
Médévielle	15	909	
Les Cournadès	23	1440	

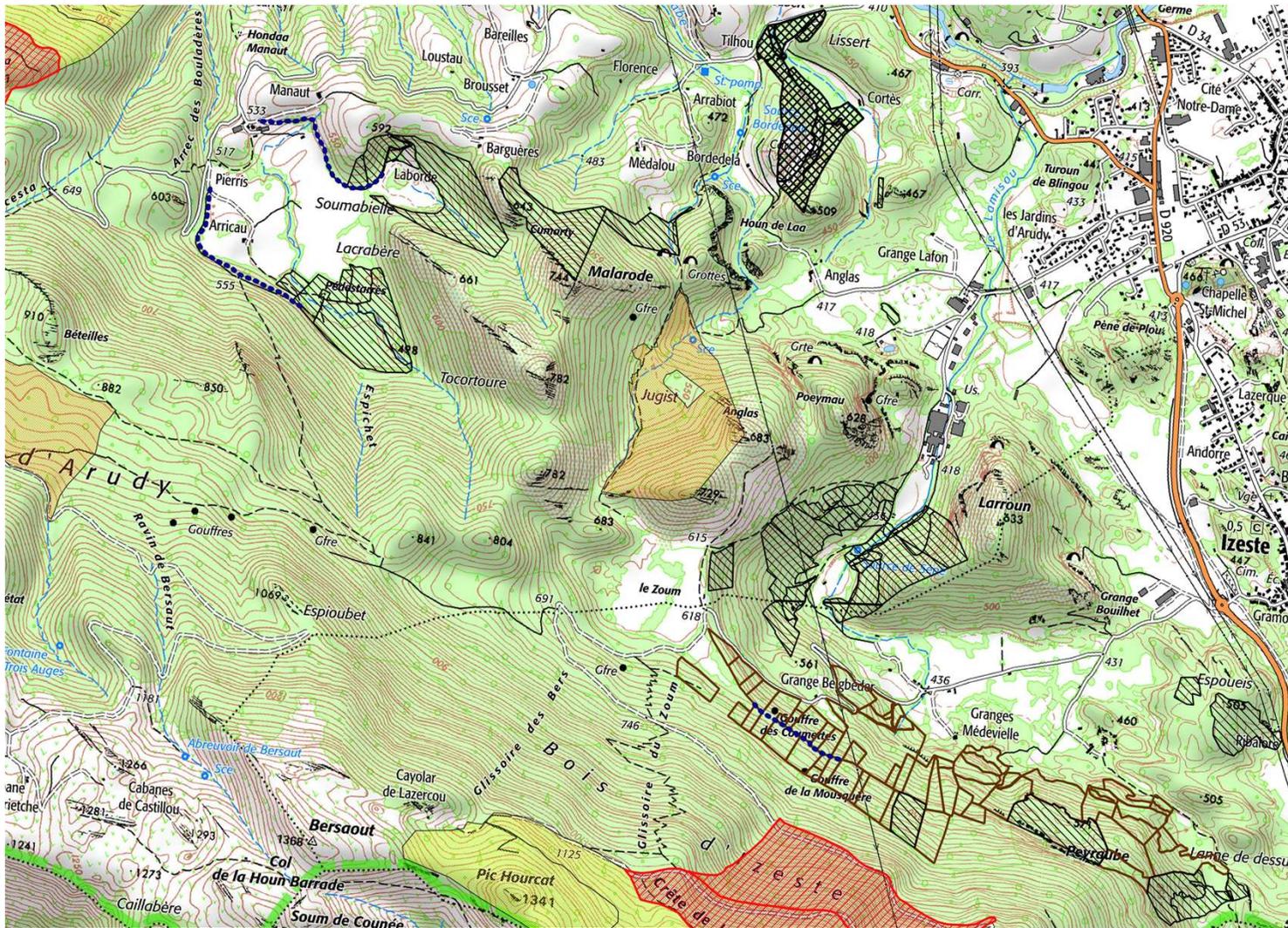
# Oloron -Herrère



-  Diagnostic effectué
-  Bois mobilisé
-  Bois Mobilisable
-  Création de Piste de débarquement
-  Rehabilitation de Piste de Débarquement
-  Parcelles communales
  -  coupes en 2021
  -  coupes vendues en 2022
  -  coupes vendues en 2023

Nbre propriétaires	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m <sup>3</sup> )	Bois mobilisé (m <sup>3</sup> )
5	15	700	
Forêt communale		736	(Oloron)

# Izeste et Arudy

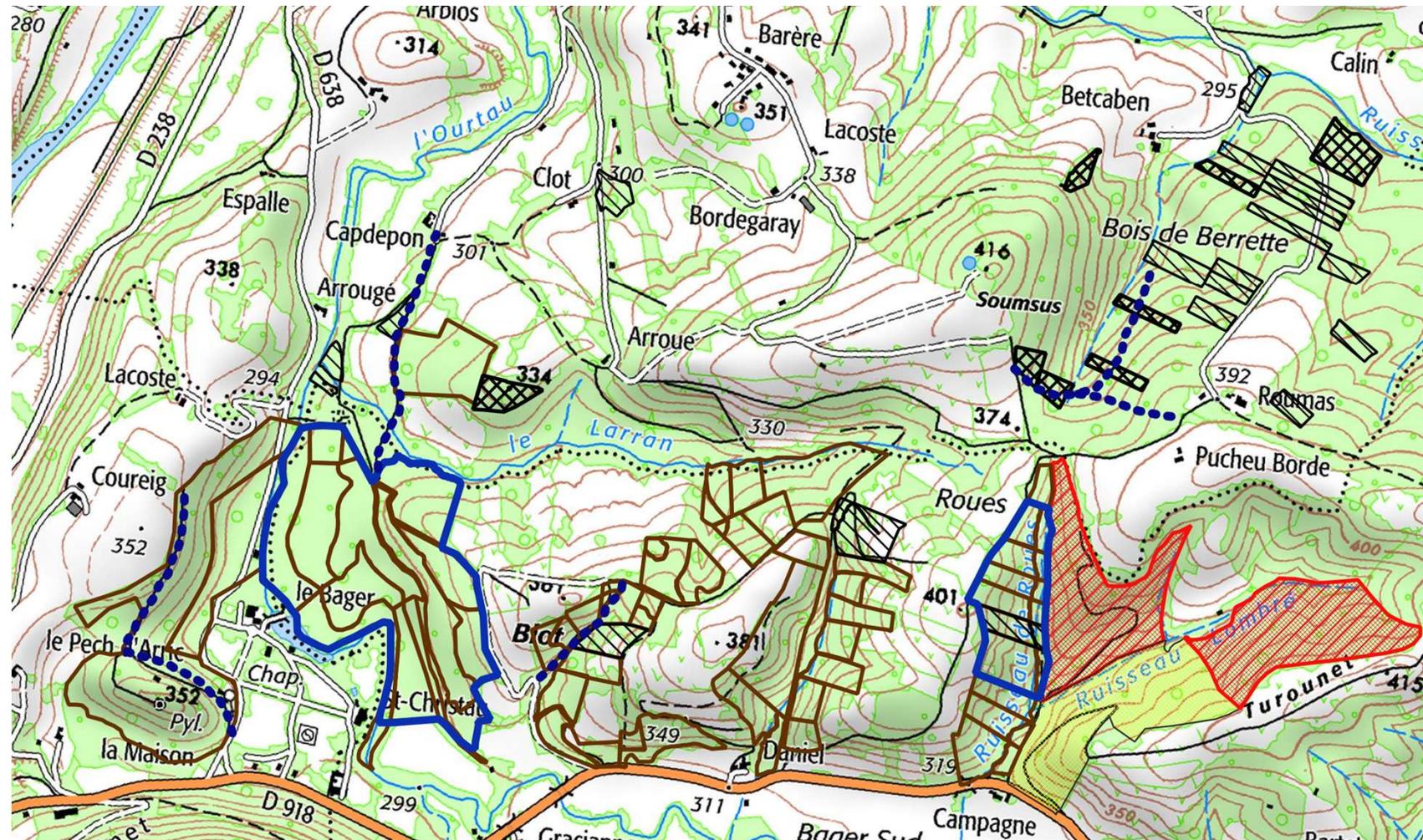


-  Diagnostic effectué
-  Bois mobilisé
-  Bois Mobilisable
-  Création de Piste de débardage
-  Rehabilitation de Piste de Débardage
-  Parcelles communales
-  coupes en 2021
-  coupes vendues en 2022
-  coupes vendues en 2023

Nbre propriétaires	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m³)	Bois mobilisé (m³)
2	10	500 t	1500t+50m3
8	15	3700 m³	
Forêt communale	2,5	400 m³	

- *Desserte à renforcer.*

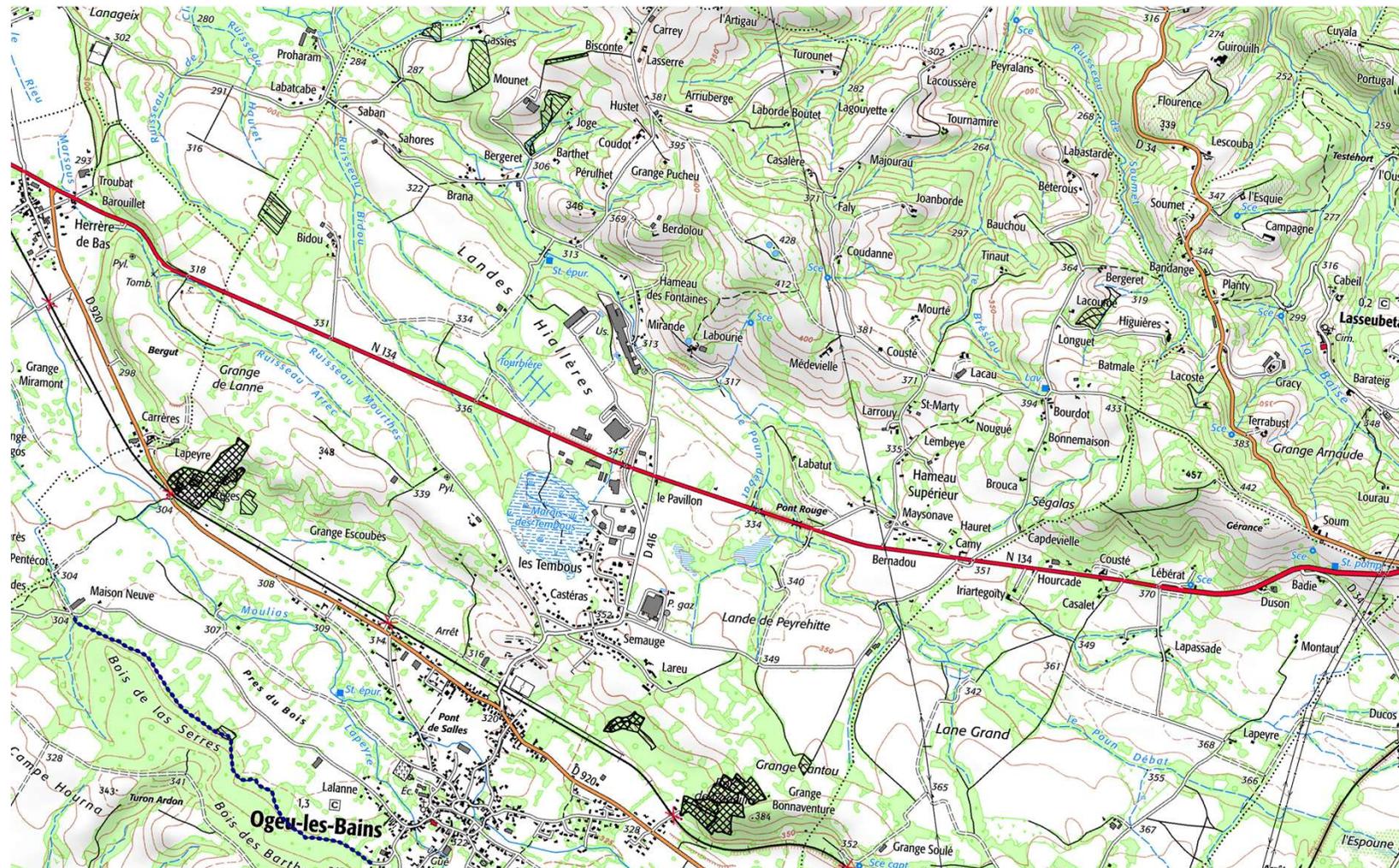
# Lurbe et Eysus



-  Diagnostic effectué
-  Bois mobilisé
-  Bois Mobilisable
-  Création de Piste de débarquement
-  Rehabilitation de Piste de Débarquement
-  Parcelles communales
-  coupes en 2021
-  coupes vendues en 2022
-  coupes vendues en 2023

Nbre propriétaires	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m³)	Bois mobilisé (m³)
7	8	400	Bois de Berette
1	30	2460	(PSG à refaire)
14	29	1700	(pb desserte)
Forêt communale	3	100	A revoir

# Ogeu-les-Bains



-  Diagnostic effectué
-  Bois mobilisé
-  Bois Mobilisable
-  Création de Piste de débarquement
-  Rehabilitation de Piste de Débarquement
-  Parcelles communales
-  coupes en 2021
-  coupes vendues en 2022
-  coupes vendues en 2023

Nbre propriétaires	Surface (ha)	Bois à mobiliser (m <sup>3</sup> )	Bois mobilisé (m <sup>3</sup> )
6	10,6	234 m <sup>3</sup>	210 m <sup>3</sup> +150 st

# ANNEXES

SITE D'ETUDE :

<p><b>Caractéristique du site :</b>          Nom : Beynat          Département : 19          Surface forestière : 5261 ha          Topographie : collines, plaine          Structure peuplement : mixte          Essences : châtaignier, pins ...          Observations : modélisation sur l'ensemble du territoire (public et privé)</p>	<p><b>Données LiDAR :</b>          Commanditaire : ONF/CRPF          Société (prestataire) : SETIS          Surface : 10000 ha          Date d'acquisition : octobre 2019          Densité d'émission moy. : 25 pt/m<sup>2</sup>          Observations : /</p> <p><b>Strates considérées pour la modélisation statistique :</b>          Une strate unique</p>	
---	--	---

DONNEES DE REFERENCE TERRAIN :

Strate 1 : unique

<p>Nb placettes totales : 124          Nb placettes utilisées : 113          Mesure (période) : nov. 2019 à fev. 2020          Observations : /</p>	<p>Placette principale :          • Rayon : 15 m (7 ares)          • Ø précomptable : 17.5 cm          Placette emboîtée : non          • Rayon : /          • Ø précomptable : /</p>	<p>Mesures réalisées :          • Ø : toutes les tiges          • Essence : toutes les tiges          • Position : toutes les tiges          • Hauteur : aucune</p>
<p>Composition          • feuillus : 49 %          • résineux : 51 %</p>	<p>Catégories de bois :          • PB : 17.5 ≤ Ø &lt; 27.5 cm          • BM : 27.5 ≤ Ø &lt; 42.5 cm          • GB : Ø ≥ 42.5 cm</p>	

Var	Nb	Min	Moy	Max	CV	Var	Nb	Min	Moy	Max	CV	Var	Nb	Min	Moy	Max	CV
<b>G</b>	113	0.3	21.2	53.8	59%	<b>Dg</b>	113	17.5	28.6	53.8	24%	<b>N</b>	113	14	328	905	58%
<b>GGB</b>	113	0	4.8	35.0	153%	<b>DO</b>	102	17.8	37.6	60.3	26%	<b>H0</b>					

Récapitulatif des paramètres forestiers des placettes de calibration.

MODELISATION DES PARAMETRES FORESTIERS :

Strate 1 : unique

Méthode de modélisation utilisée : par individus (voir annexe)

<p>MNH :          • Résolution = 50 cm          • Interpolation = non</p>	<p>Lissage gaussien :          • Sigma = 0.3</p>	<p>Filtre maxima :          • Delta H = 0.5 m          • Rayon min = 1.5 m</p>	<p>Hauteur des apex précomptables :          • Ht min = 13 à 17 m</p>
---	--	--	---

Récapitulatif des paramètres de modélisation utilisés.

Var	EQM	R <sup>2</sup>	Var	EQM	R <sup>2</sup>	Var	EQM	R <sup>2</sup>
<b>G</b>	7.4 (33%)	60%	<b>H0</b>			<b>% F/R</b>	16%	85%
<b>GGB</b>	4.9 (97%)	57%	<b>Dg</b>	3.6 (12%)	70%	<b>GR</b>	5.63 (49%)	85%
<b>N</b>	138 (40%)	42%	<b>DO</b>	4.8 (13%)	71%	<b>GF</b>	6.81 (62%)	81%

Récapitulatif des erreurs des modèles de prédiction / placette.

## Prédiction des paramètres forestiers

### Surface terrière (G)

Le modèle de prédiction de G a une erreur élevée en comparaison avec les modélisations déjà réalisées sur d'autres sites (ici l'erreur à l'échelle de la placette est de 7.4 m<sup>2</sup>/ha soit 33 % alors qu'elle est en général de 15 à 20 % sur les sites à dominante résineuse). Le R<sup>2</sup> est moyen (60%).

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- Présence d'un biais de sous-estimation systématique important des peuplements capitalisés ( $G > 35-40 \text{ m}^2/\text{ha}$ ), d'environ 7 m<sup>2</sup>/ha pour les résineux jusqu'à plus de 15 m<sup>2</sup>/ha pour les feuillus.
- Les résultats sont à utiliser avec précautions lors du calcul du capital à l'échelle du peuplement ou de la parcelle (risque de biais). Malgré tout l'utilisation des cartographies en relatif (localisation des zones de plus ou moins fort capital) reste possible.

### Diamètres dominant (D0) et quadratique moyen (Dg)

Les modèles de prédiction de Dg et D0 sont de bonne qualité (erreurs < 5 cm et R<sup>2</sup> > 70%).

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- Présence d'un biais de sous-estimation de D0 et Dg (5 à 10 cm) dans les peuplements feuillus à gros bois.

### Hauteur dominante (H0)

Aucun modèle H0 n'a été calibré car les références terrain ne le permettaient pas (pas de mesure de hauteur des plus gros arbres de la placette).

Malgré tout une couche brute H0 basée sur la hauteur des apex détectés a été produite. Cette couche bien que non calibrée reste fiable et utilisable.

### Gros bois en surface terrière (GGB) et en pourcentage (p100GGB)

Les modèles de prédiction des gros bois ( $\varnothing \geq 42.5 \text{ cm}$ ) présentent des erreurs importantes (notamment pour GGB). Ici seul la couche du % de gros bois sera livrée.

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- Présence d'un biais de sous-estimation dans les peuplements feuillus
- Les données produites ici pourront être utilisées à titre informatif (par ex. pour la description).

### Familles d'essences en surface terrière et en pourcentage

La distinction du % entre feuillus/résineux est de bonne qualité (R<sup>2</sup> de 85 %).

La distinction détaillée des résineux (pins et résineux divers regroupant douglas, épicéa, sapin ...) et aussi de bonne qualité surtout pour les résineux divers.

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- Confusion possible entre pins et feuillus.

### Densité (N)

Les résultats obtenus sont assez médiocres avec une erreur relative de 40 %, un R<sup>2</sup> de seulement 42 % et la présence de biais.

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- Ne pas utiliser les résultats obtenus !

### Observations

Les erreurs de prédiction du capital (G) sont assez importantes en comparaison d'autres sites modélisés. Ces erreurs s'expliquent en partie par :

- La présence de différentes espèces forestières (feuillus, pins, sapins, épicéas, douglas ...) modélisées à l'aide d'un modèle unique.
- La présence de taillis feuillus dont les tiges sont souvent à la limite du diamètre pré comptable (17,5 cm.) ; limite difficilement distinguable par le modèle. L'impact est ici d'autant plus important que la proportion de peuplements à petits bois est très élevée.

Les calculs du capital à l'échelle de la parcelle ou du peuplement peuvent donc présenter des erreurs. Il est donc recommandé l'utilisation relative des données produites (présence de + ou - de capital) en description.

Les prédictions des diamètres et la distinction des familles d'essences sont quant à elles satisfaisantes.

## LISTE DES COUCHES GEOGRAPHIQUES PRODUITES :

Code	Description	Unité	Valeurs
G	Surface terrière totale (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	m <sup>2</sup> /ha	En continu
D0	Diamètre dominant (100 + grosses tiges/ha)	cm	En continu
Dg	Diamètre quadratique moyen (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	cm	En continu
H0_lidar	Hauteur dominante brute non calibrée (100 plus hautes tiges/ha)	m	En continu
p100GGB	% de gros bois (en % de G)	%	En continu
Compo	Composition en familles d'essences (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	sans objet	0 = non pré comptable 1 = feuillus (> 70% de G) 2 = résineux (> 70% de G) 3 = mélange
Tx_couv	Taux de couvert des apex pré comptables (> 13 m)	%	En continu
zone_filtre_carto	Zones exclues de la cartographie ( <b>valeurs mises à 0 dans les cartes !</b> ) car les hauteurs d'apex < limites définies (= non boisé, non pré comptable ou chétif)	sans objet	1 = cellule sans apex de ht > 13 m 2 = cellules avec moins de 100 apex/ha de ht entre 13 et 17 m
pente_exclue	Zones exclues de la cartographie ( <b>valeurs mises à Nodata dans les cartes !</b> ) car > pente maximum définie (= difficulté de modélisation et d'exploitabilité)	sans objet	1 = exclu (pente > 110%)
GF	Surface terrière feuillus (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	m <sup>2</sup> /ha	En continu
GR	Surface terrière résineux (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	m <sup>2</sup> /ha	En continu
P100GF	% feuillus (% de G)	%	En continu
P100Gpin	% pins (% de G)	%	En continu
P100GR	% résineux (% de G)	%	En continu
P100Grdiv	% résineux divers (% de G)	%	En continu

*Liste des couches raster (format géotif, résolution 26.6 m  $\approx$  7 ares).*

Code	Description	Unité	Valeurs
prediction_shp	Grille de prédiction des paramètres forestiers (1 point tous les 26.6 m)	sans objet	Une colonne par paramètre prédit

*Liste des couches vecteur (format shape, point).*

## GLOSSAIRE :

**BM** : bois moyen  
**CV** : coefficient de variation  
**Dg** : diamètre quadratique moyen (cm)  
**D0** : diamètre dominant (cm)  
**EQM** : erreur quadratique moyenne  
**G** : surface terrière (m<sup>2</sup>/ha)  
**GB** : gros bois  
**GF** : surface terrière feuillus (m<sup>2</sup>/ha)  
**GGB** : surface terrière gros bois (m<sup>2</sup>/ha)  
**GR** : surface terrière résineux (m<sup>2</sup>/ha)

**H0** : hauteur dominante (m)  
**MNH** : modèle numérique de hauteur  
**N** : densité (t/ha)  
**Nb** : nombre  
**PB** : petits bois  
**p100GGB** : % de G gros bois  
**R<sup>2</sup>** : coefficient de détermination (% de la variabilité prédit/mesuré expliquée par le modèle)

**Segma** : algorithme de segmentation des couronnes d'arbres dans le nuage LiDAR (développé B. St-Onge, Univ. du Québec à Montréal)  
**V** : volume (m<sup>3</sup>/ha)  
**Var** : variable  
**% F/R** : % feuillus / résineux (en G)

## Présentation de la méthode de modélisation « par individus » utilisée ici

### Principe

La méthode de modélisation des paramètres forestiers utilisée repose sur une détection d'individus (couronne d'arbre et apex) à partir des données LiDAR (voir schéma ci-après). Cette méthode est bien adaptée aux peuplements à dominante résineuse.

1. La détection des couronnes d'arbres a été réalisée à l'aide l'outil Computree (<http://computree.onf.fr>) en utilisant la chaîne de traitement SEGMA mise au point par B. ST-ONGE (Université du Québec) qui permet de délimiter les enveloppes des arbres à partir d'un modèle numérique de hauteur (MNH) LiDAR. Pour chaque individu détecté on calcule des indicateurs de hauteur, de surface, de volume et de forme du houppier.
2. Les données terrain ont été appariées avec les détections LiDAR : c'est-à-dire qu'on a fait correspondre chaque arbre terrain positionné avec sa détection LiDAR (apex). On obtient ainsi un jeu de données échantillon contenant pour chaque individu les informations relevées sur le terrain (essence, diamètre ...) et issues du LiDAR (hauteur, surface, forme de couronne ...).
3. Des modèles de prédiction de l'essence et du diamètre, à l'individu, ont ensuite été calibrés à partir de l'échantillon apparié. Les régressions randomforest utilisent des variables explicatives de forme, de surface et de hauteur de couronne ainsi des informations stationnelles comme l'altitude et l'exposition.
4. Afin d'estimer les paramètres forestiers tels que la surface terrière ou le diamètre moyen, les modèles de prédiction de l'essence et du diamètre ont été appliqués à l'ensemble des apex détectés. Puis le calcul, à la placette de 7 ares, a consisté à faire la somme ou la moyenne des apex sur la placette. L'estimation directe des paramètres forestiers présente souvent un biais qu'il est nécessaire de corriger par l'application d'une régression linéaire.

### Cas des peuplements non précomptables

Les hauteurs des apex précomptables permettent de définir les placettes ou les cellules de cartographie qui seront considérées comme  $< \emptyset$  précomptable (ici 17.5 cm) et donc avec un capital = 0.

- La valeur de « h\_min1\_apex » (ici = 13 m) correspond à la hauteur minimum des apex des arbres précomptables. On considère que tous les apex dont  $H < h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) correspondent à des arbres non précomptables.
- La valeur de « h\_min2\_apex » (ici = 16 m) correspond à la hauteur maximum des apex précomptables. On considère que tous les apex dont  $H > h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 16 m) sont précomptables.

En résumé,

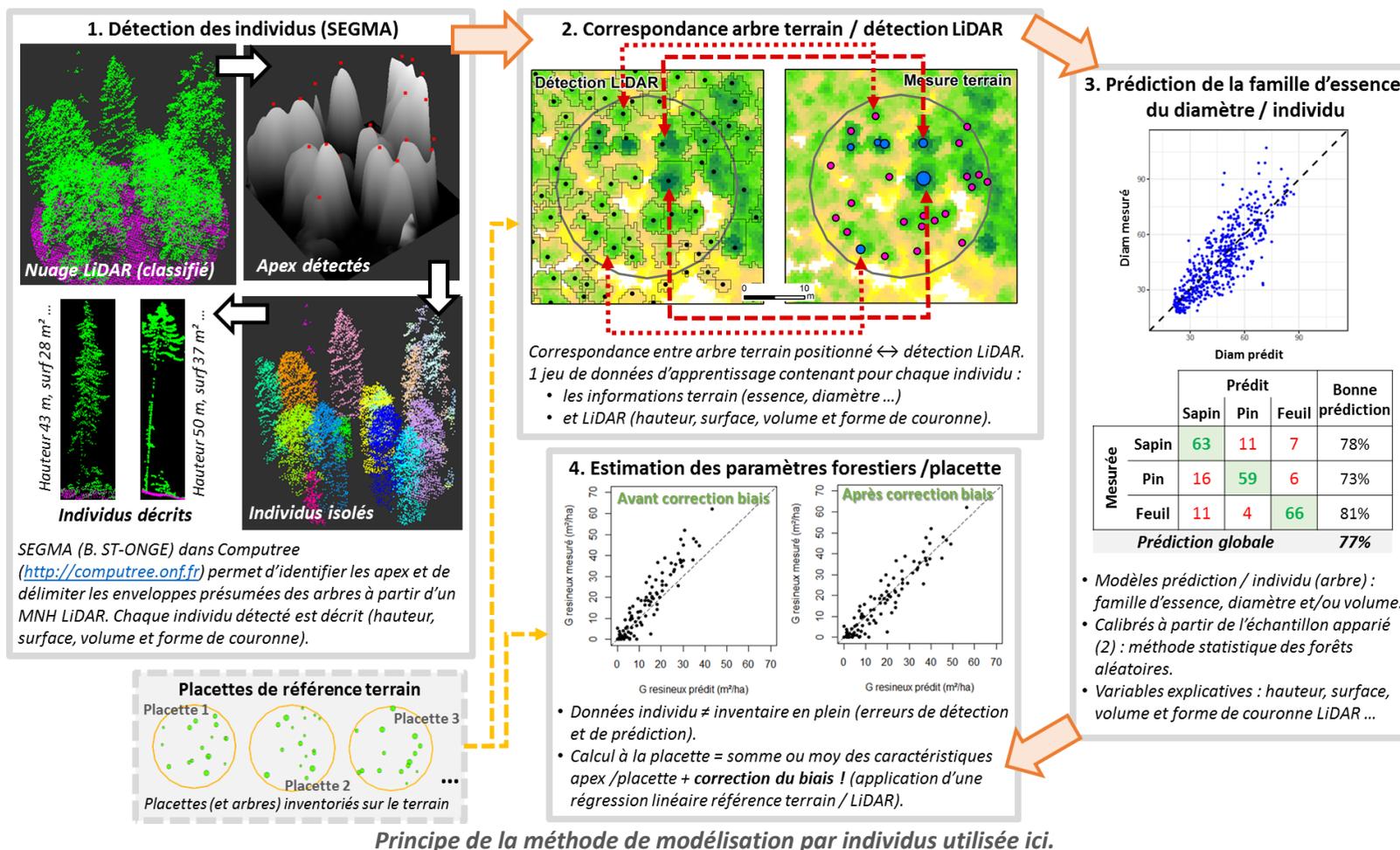
- Tous les apex d'une hauteur  $< h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) sont exclus (supprimés)
- Sur une placette de N ares (ou une cellule de cartographie)
  - si tous les apex ont une hauteur  $< h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) = placette non précomptable (exclue des modèles et mise à 0 en cartographie)
  - si au moins 1 apex d'une hauteur  $> h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 16 m) = placette précomptable (utilisée en modélisation et en cartographie)
  - si plus de N -1 des apex (ici 6 pour 7ares) ont une hauteur comprise entre  $h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) et  $h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 16 m) = placette précomptable (utilisée en modélisation et en cartographie)
  - si moins de N -1 des apex (ici 6 pour 7ares) ont une hauteur comprise entre  $h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) et  $h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 17 m) = placette non précomptable (exclue des modèles et mise à 0 en cartographie)

## Avantages et limites de la méthode

Cette méthode, bien adaptée aux peuplements à dominante résineuse, est relativement générique et utilise des indicateurs LiDAR qui ont un sens d'un point de vue biologique : des arbres individualisés et décrits à partir du nuage LiDAR.

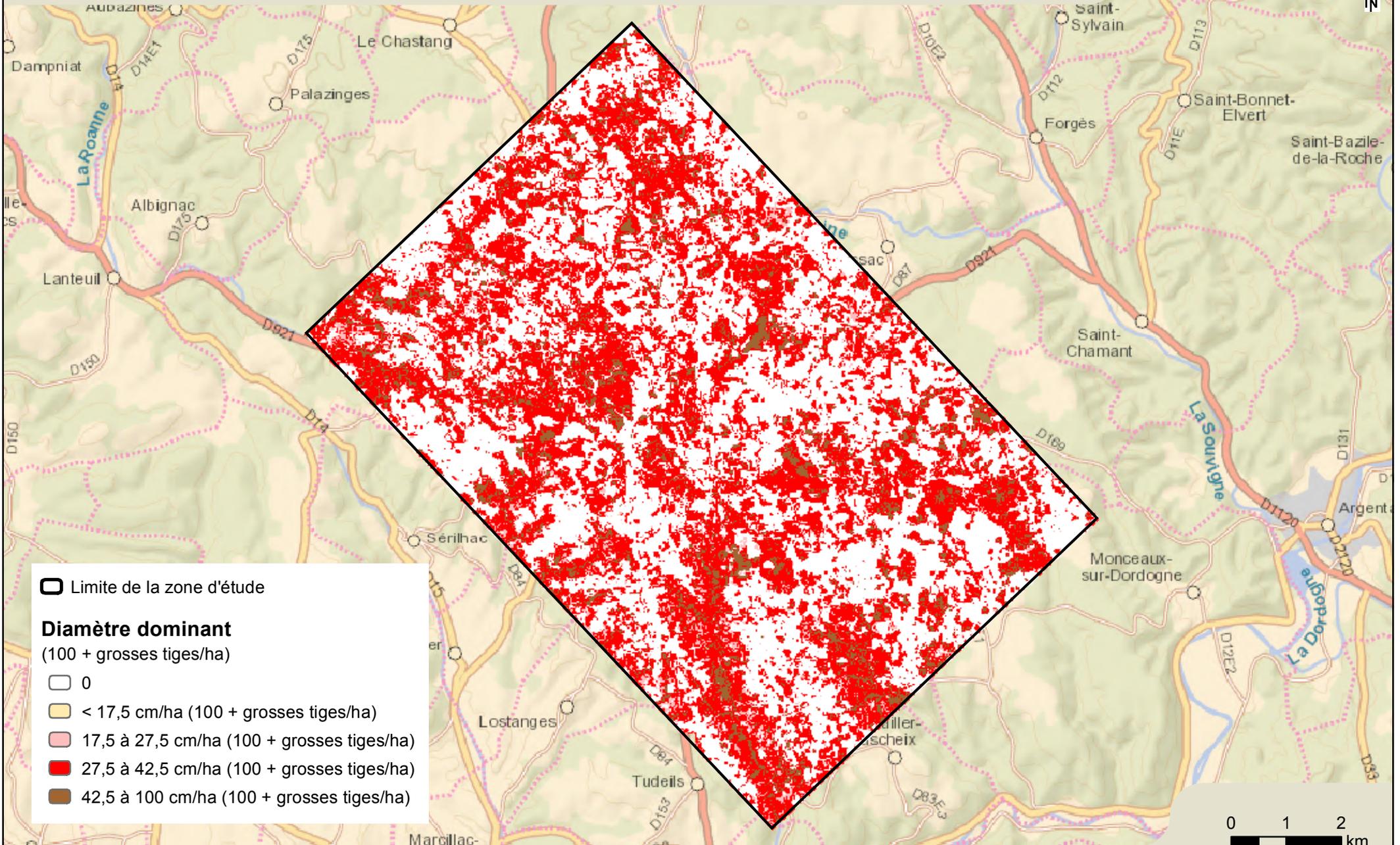
Bien que la méthode soit robuste, elle présente aussi certaines limites :

- La détection des couronnes d'arbres est réalisée sur l'ensemble du site à partir d'un paramétrage unique qui s'adapte bien aux types de peuplements les plus représentés mais parfois moins bien aux types moins représentés ou particuliers pouvant provoquer des biais.
- La description de chaque individu (prédiction du diamètre, de l'essence) est réalisée à partir d'indicateur comme la hauteur, la surface et la forme de couronne. Il s'agit d'une relation « d'allométrie » qui ne permet pas toujours de distinguer les très gros bois : les arbres très matures ne se distinguent plus à partir de leur hauteur ou de leur taille de couronne.



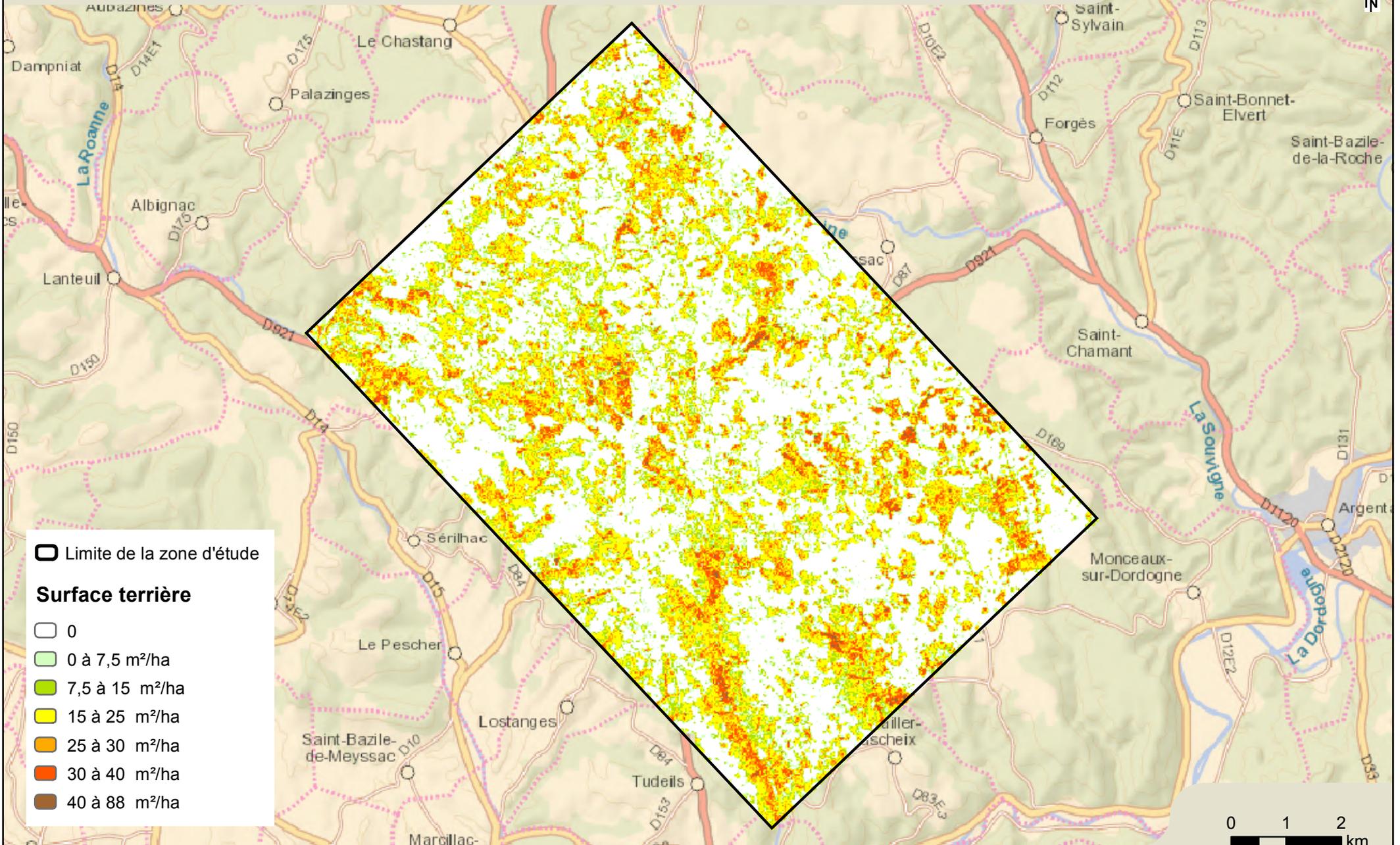
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Diamètre dominant - Beynat



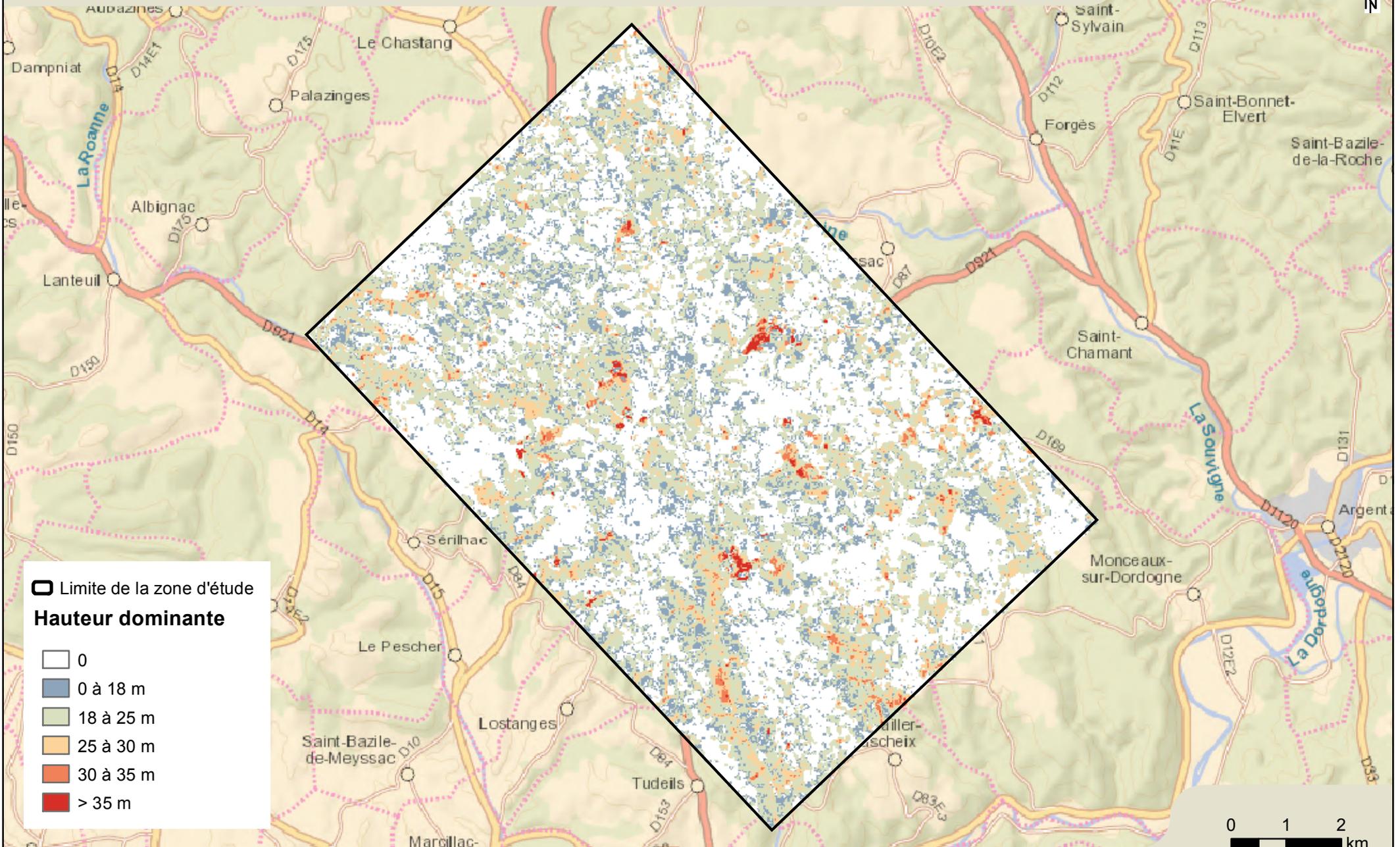
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Surface terrière - Beynat



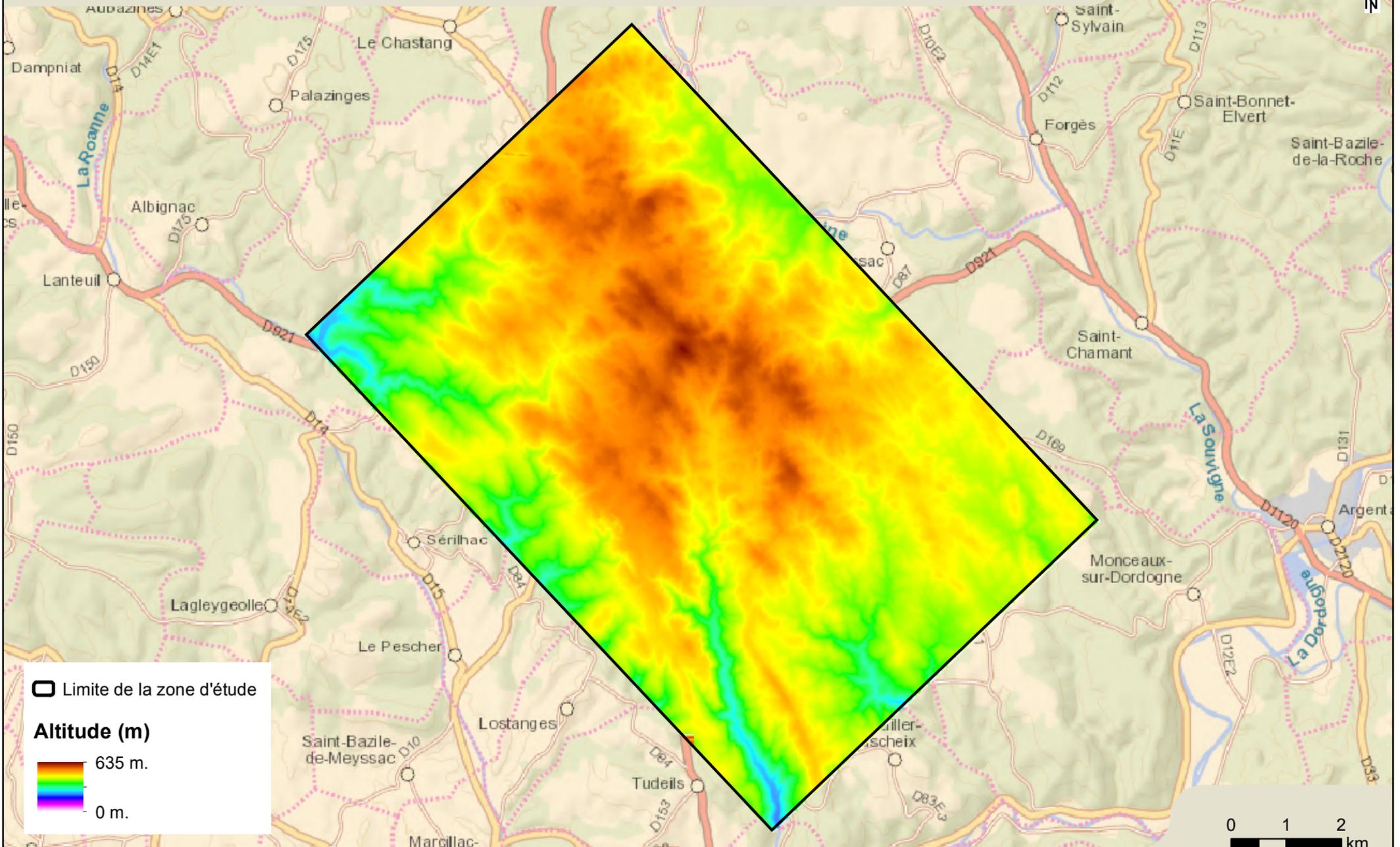
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Hauteur dominante - Beynat



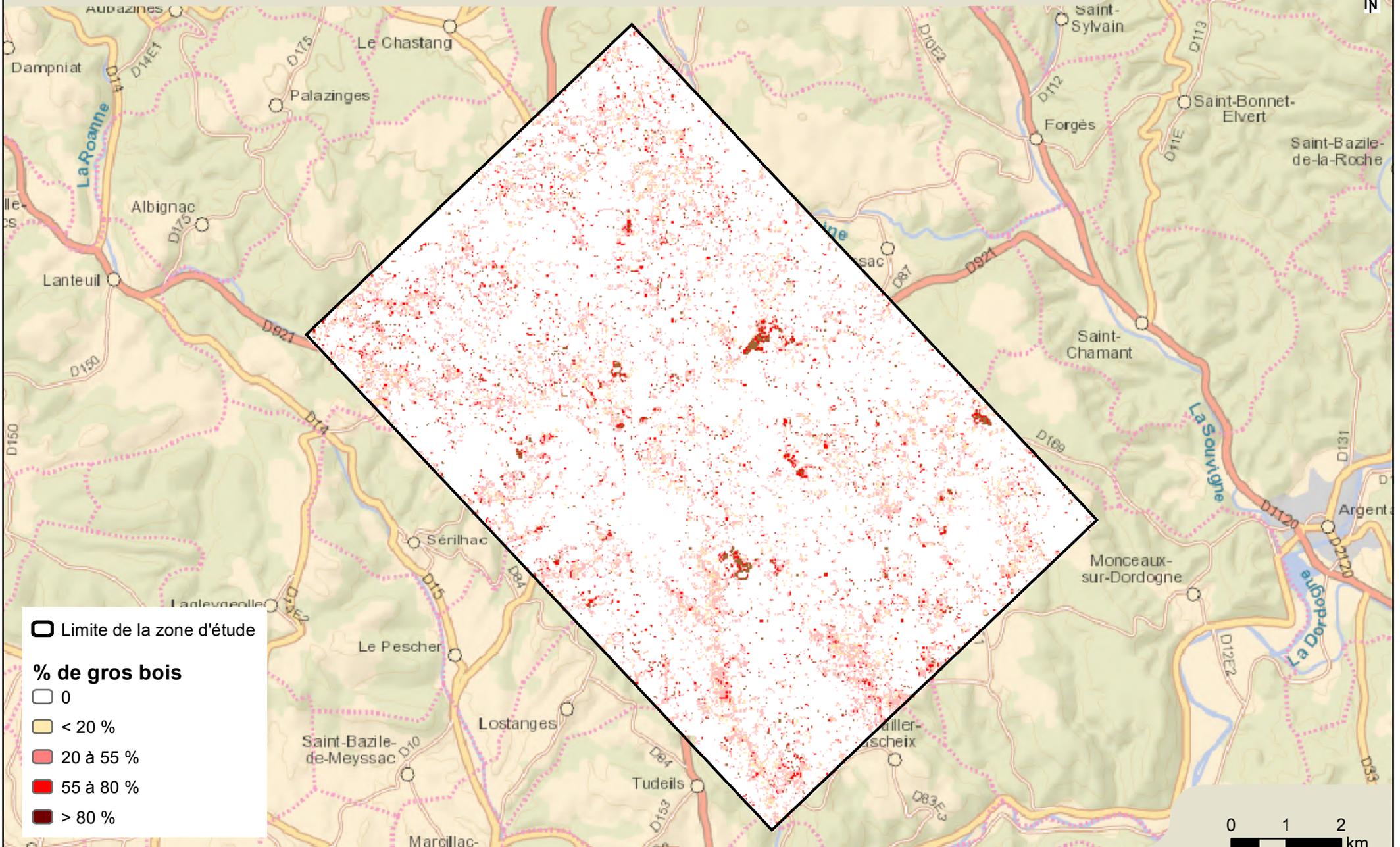
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Modèle numérique de terrain (MNT) - Beynat



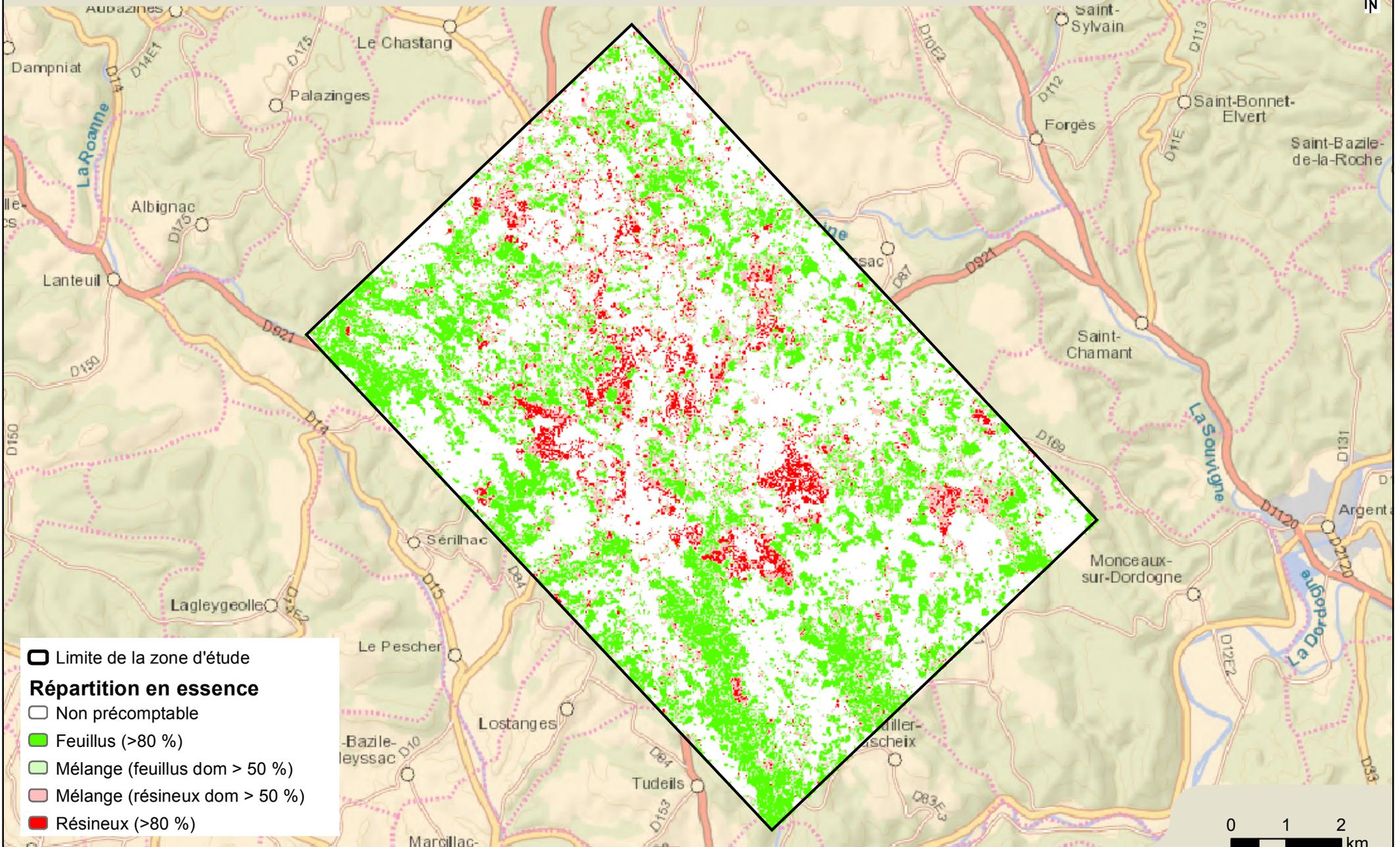
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Pourcentage de gros bois - Beynat



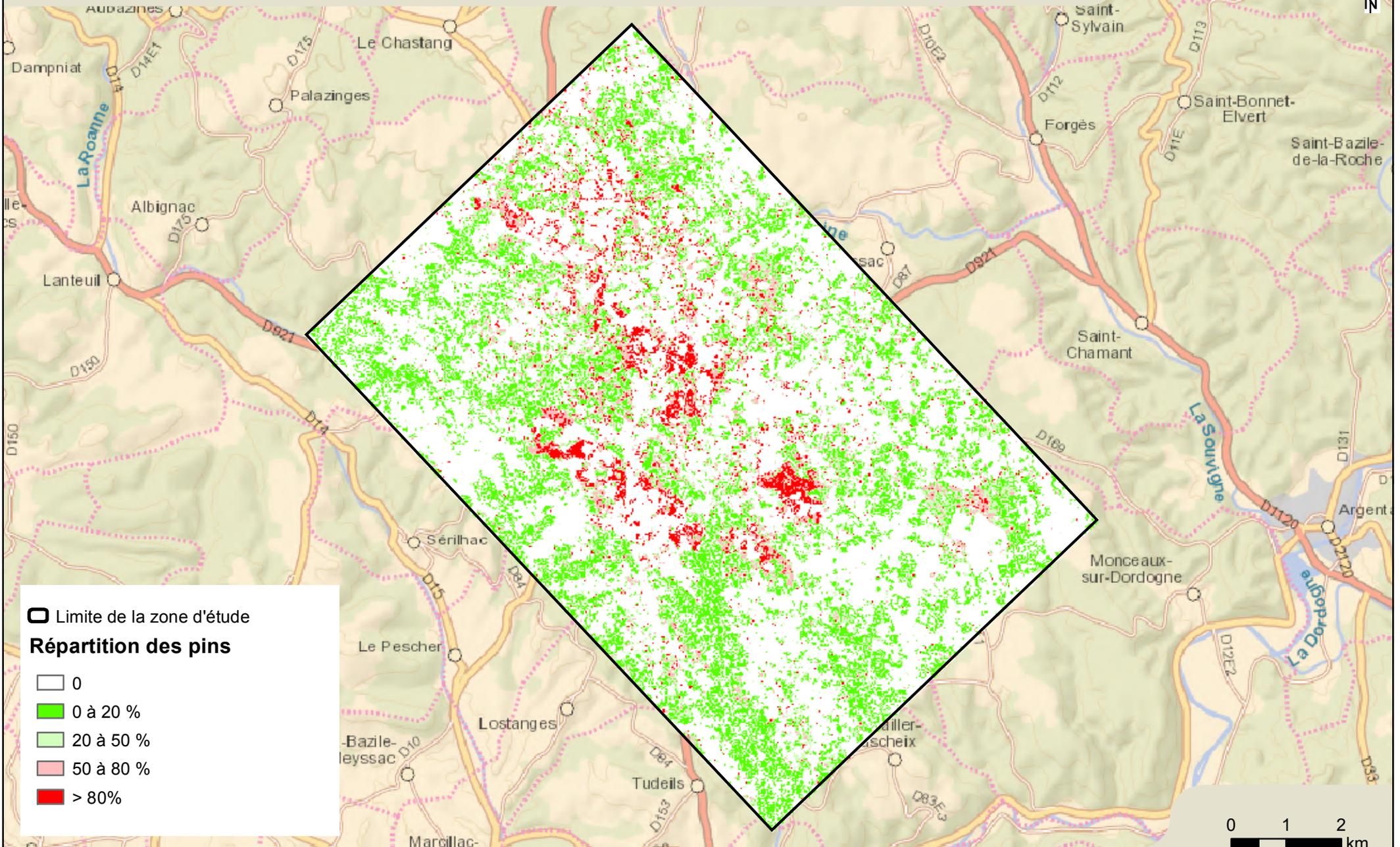
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Répartition Feuillus / Résineux - Beynat



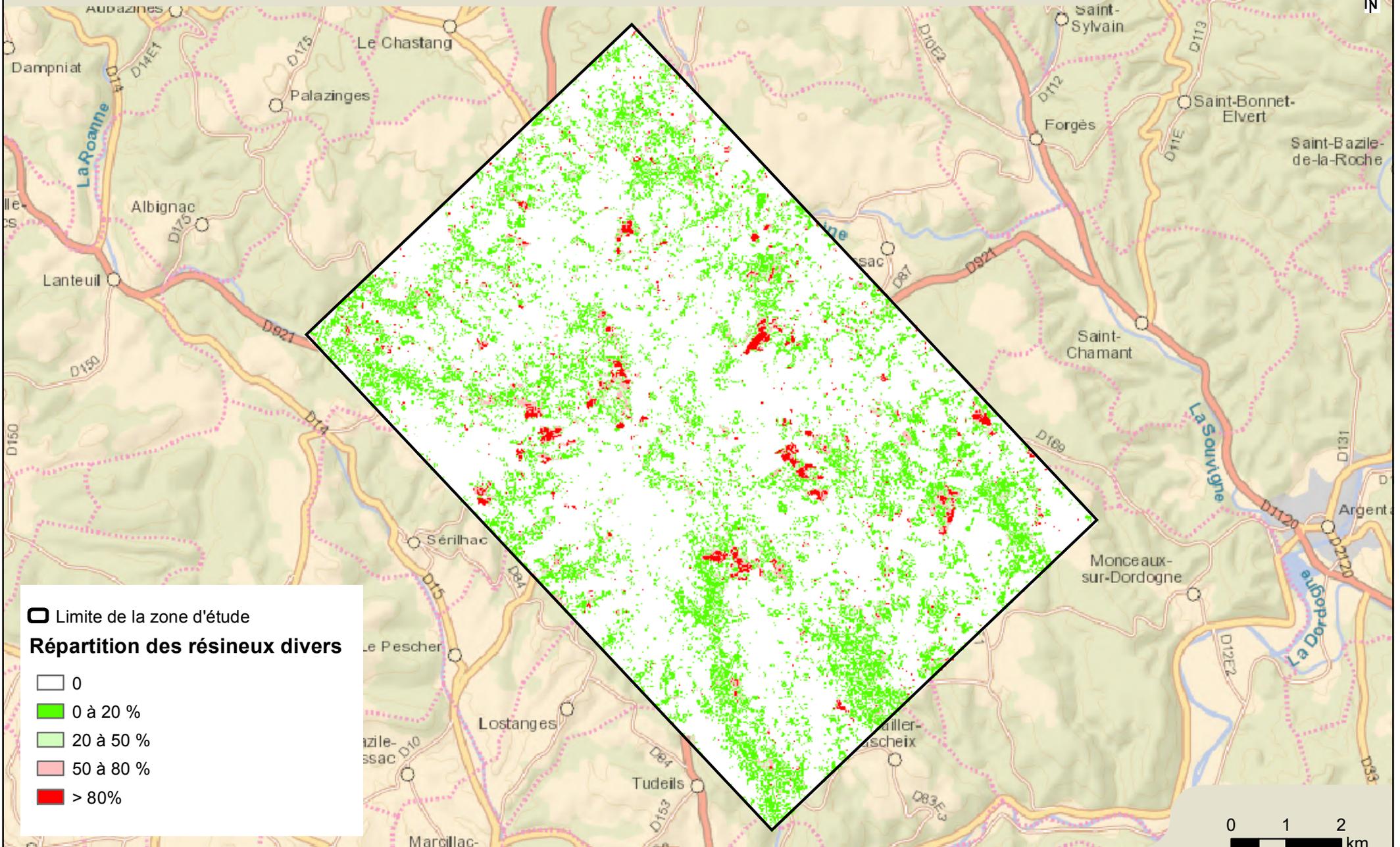
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Répartition des pins - Beynat



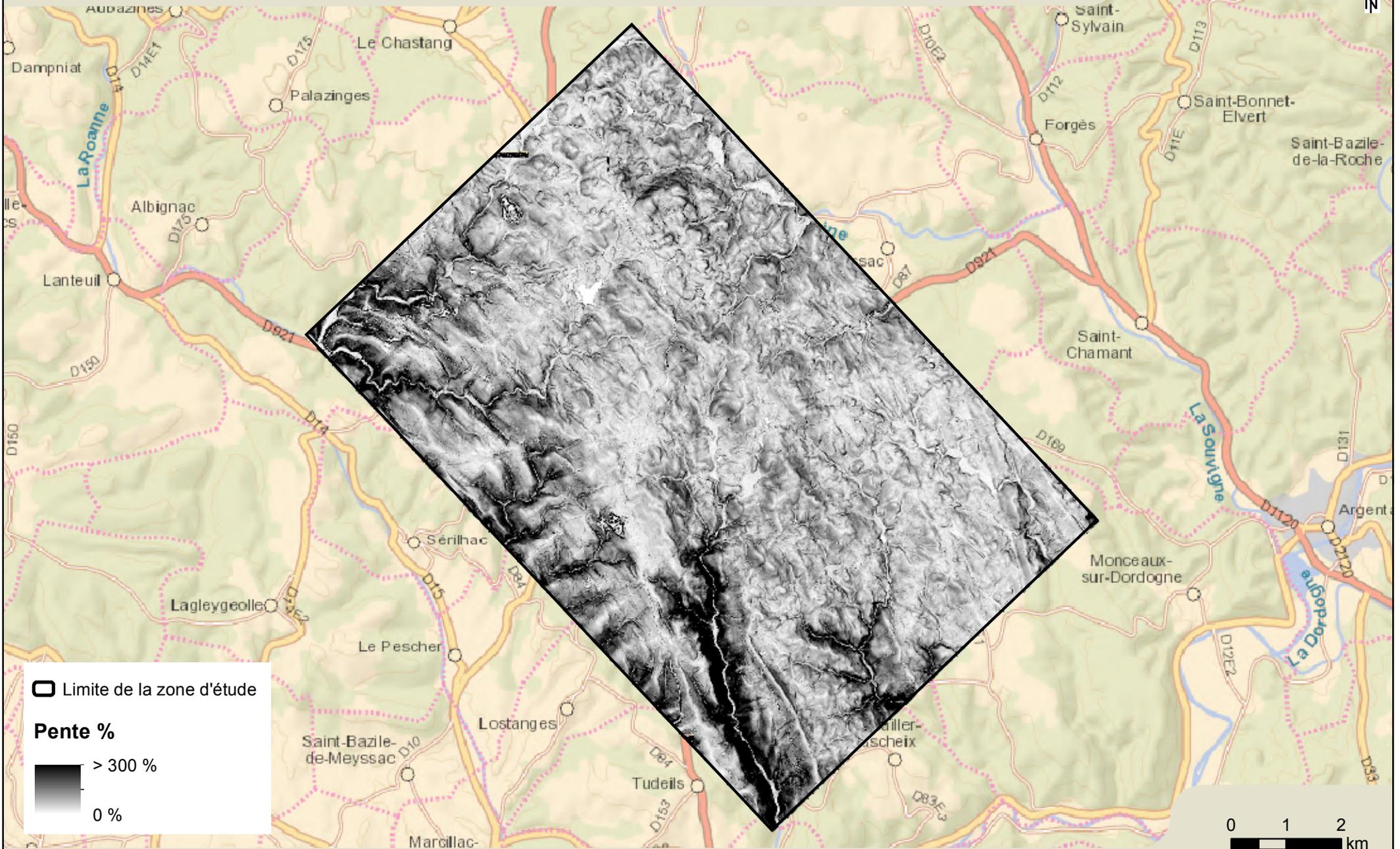
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Répartition des résineux divers (regroupant douglas, épicéa, sapin... ) - Beynat



# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Pente (%) - Beynat



SITE D'ETUDE :

<p><b>Caractéristique du site :</b>          Nom : Oloron-Sainte-Marie          Département : 64          Surface forestière : 6480 ha          Topographie : Montagne, collines, plaine          Structure peuplement : mixte          Essences : hêtre, sapin ...          Observations : modélisation sur l'ensemble du territoire (public et privé)</p>	<p><b>Données LiDAR :</b>          Commanditaire : ONF/CRPF          Société (prestataire) : SETIS          Surface : 10000 ha          Date d'acquisition : octobre 2019          Densité d'émission moy. : 21,1 pt/m<sup>2</sup>          Observations : /</p> <p><b>Strates considérées pour la modélisation statistique :</b>          Une strate unique</p>	
---	--	---

DONNEES DE REFERENCE TERRAIN :

Strate 1 : unique

<p>Nb placettes totales : 130          Nb placettes utilisées : 114          Mesure (période) : nov. 2019 à fev. 2020          Observations : /</p>	<p>Placette principale :          • Rayon : 15 m (7 ares)          • Ø précomptable : 17.5 cm          Placette emboîtée : non          • Rayon : /          • Ø précomptable : /</p>	<p>Mesures réalisées :          • Ø : toutes les tiges          • Essence : toutes les tiges          • Position : toutes les tiges          • Hauteur : aucune</p>
<p>Composition          • Feuillus : 63 %          • Résineux : 37 %</p>	<p>Catégories de bois :          • PB : 17.5 ≤ Ø &lt; 27.5 cm          • BM : 27.5 ≤ Ø &lt; 42.5 cm          • GB : Ø ≥ 42.5 cm</p>	

Var	Nb	Min	Moy	Max	CV	Var	Nb	Min	Moy	Max	CV	Var	Nb	Min	Moy	Max	CV
G	114	3.8	29	81	50%	Dg	114	20.7	41.5	77.7	28%	N	114	14.2	233.2	551.7	48%
GGB	114	0	18.3	70.1	81%	DO	97	25.8	53.2	90.7	25%	HO					

Récapitulatif des paramètres forestiers des placettes de calibration.

MODELISATION DES PARAMETRES FORESTIERS :

Strate 1 : unique

Méthode de modélisation utilisée : par individus (voir annexe)

<p>MNH :          • Résolution = 50 cm          • Interpolation = non</p>	<p>Lissage gaussien :          • Sigma = 0.6</p>	<p>Filtre maxima :          • Delta H = 0.5 m          • Rayon min = 1.5 m</p>	<p>Hauteur des apex précomptables :          • Ht min = 13 à 17 m</p>
---	--	--	---

Récapitulatif des paramètres de modélisation utilisés.

Var	EQM	R <sup>2</sup>	Var	EQM	R <sup>2</sup>	Var	EQM	R <sup>2</sup>
G	8.42 (29%)	64%	HO			% F/R	16%	82%
GGB	8.31 (46%)	68%	Dg	7.86 (19%)	52%	GR	7.1 (53%)	82%
N	86.03 (37%)	42%	DO	6.85 (13%)	73%	GF	6.5 (41%)	63%

Récapitulatif des erreurs des modèles de prédiction / placette.

## Prédiction des paramètres forestiers

### Surface terrière (G)

Le modèle de prédiction de G a une erreur élevée en comparaison avec les modélisations déjà réalisées sur d'autres sites (ici l'erreur à l'échelle de la placette est de 8.4 m<sup>2</sup>/ha soit 29 % alors qu'elle est en général de 15 à 20 % sur les sites à dominante résineuse). Le R<sup>2</sup> est moyen (64%).

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- *Présence d'un biais de sous-estimation systématique important des peuplements capitalisés ( $G > 35-40 \text{ m}^2/\text{ha}$ ), d'environ 5 m<sup>2</sup>/ha.*
- *Présence d'un biais de sous-estimation important dans les peuplements feuillus denses ( $>400 \text{ T}/\text{ha}$ ) pouvant atteindre 10m<sup>2</sup>/ha*
- *Les résultats sont à utiliser avec précautions lors du calcul du capital à l'échelle du peuplement ou de la parcelle (risque de biais). Malgré tout l'utilisation des cartographies en relatif (localisation des zones de plus ou moins fort capital) reste possible.*

### Diamètres dominant (D0) et quadratique moyen (Dg)

Le modèle de prédiction de Dg, avec une erreur de 7,9 cm et un R<sup>2</sup> de seulement 52% est de mauvaise qualité et ne sera donc pas livré.

Le modèle de prédiction de D0, avec une erreur de 6,8 cm et un R<sup>2</sup> de 73% est de bonne qualité.

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- *Ne pas utiliser le modèle de prédiction de Dg.*

### Hauteur dominante (H0)

Aucun modèle H0 n'a été calibré car les références terrain ne le permettaient pas (pas de mesure de hauteur des plus gros arbres de la placette).

Malgré tout une couche brute H0 basée sur la hauteur des apex détectés a été produite. Cette couche bien que non calibrée reste fiable et utilisable.

### Gros bois en surface terrière (GGB) et en pourcentage (p100GGB)

Les modèles de prédiction des gros bois ( $\emptyset \geq 42.5 \text{ cm}$ ) présentent des erreurs importantes.

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- *Les données produites ici devront être utilisées à titre informatif (par ex. pour la description).*

### Familles d'essences en surface terrière et en pourcentage

La distinction du % entre feuillus/résineux est de bonne qualité (R<sup>2</sup> de 82 %).

La prédiction du GR a un R<sup>2</sup> important (82%) mais une erreur assez élevée (7,1 m<sup>2</sup>/ha).

La prédiction de GF quant à elle est moyenne avec R<sup>2</sup> de seulement 63%.

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- *Meilleure qualité de la prédiction de GR par rapport à GF.*

### Densité (N)

Les résultats obtenus sont assez médiocres avec une erreur relative de 37 %, un R<sup>2</sup> de seulement 42 % et la présence de biais.

#### **Limites et restrictions à prendre en compte :**

- *Ne pas utiliser les résultats obtenus !*

## Observations

Les erreurs de prédiction du capital (G) sont assez importantes en comparaison d'autres sites modélisés. Ces erreurs s'expliquent en partie par la forte hétérogénéité des formes d'arbres présentes sur le site étudié. En effet, se côtoie des arbres dont le diamètre varie du simple au double pour des hauteurs identiques.

## LISTE DES COUCHES GEOGRAPHIQUES PRODUITES :

Code	Description	Unité	Valeurs
G	Surface terrière totale (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	m <sup>2</sup> /ha	En continu
D0	Diamètre dominant (100 + grosses tiges/ha)	cm	En continu
p100GGB	% de gros bois (en % de G)	%	En continu
GGB	Surface terrière gros bois (pour $\varnothing \geq 47.5$ cm)	m <sup>2</sup> /ha	En continu
GF	Surface terrière feuillus (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	m <sup>2</sup> /ha	En continu
GR	Surface terrière résineux (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	m <sup>2</sup> /ha	En continu
P100GF	% feuillus (% de G)	%	En continu
P100GR	% résineux (% de G)	%	En continu
Compo	Composition en familles d'essences (pour $\varnothing \geq 17.5$ cm)	sans objet	0 = non pré comptable 1 = feuillus (> 70% de G) 2 = résineux (> 70% de G) 3 = mélange
Tx_couv	Taux de couvert des apex pré comptables (> 13 m)	%	En continu
zone_filtre_carto	Zones exclues de la cartographie ( <b>valeurs mises à 0 dans les cartes !</b> ) car les hauteurs d'apex < limites définies (= non boisé, non pré comptable ou chétif)	sans objet	1 = cellule sans apex de ht > 13 m 2 = cellules avec moins de 100 apex/ha de ht entre 13 et 17 m
pente_exclue	Zones exclues de la cartographie ( <b>valeurs mises à Nodata dans les cartes !</b> ) car > pente maximum définie (= difficulté de modélisation et d'exploitabilité)	sans objet	1 = exclu (pente > 110%)

*Liste des couches raster (format géotif, résolution 26.6 m  $\approx$  7 ares).*

Code	Description	Unité	Valeurs
prediction_shp	Grille de prédiction des paramètres forestiers (1 point tous les 26.6 m)	sans objet	Une colonne par paramètre prédit

*Liste des couches vecteur (format shape, point).*

## GLOSSAIRE :

<p><b>BM</b> : bois moyen</p> <p><b>CV</b> : coefficient de variation</p> <p><b>Dg</b> : diamètre quadratique moyen (cm)</p> <p><b>D0</b> : diamètre dominant (cm)</p> <p><b>EQM</b> : erreur quadratique moyenne</p> <p><b>G</b> : surface terrière (m<sup>2</sup>/ha)</p> <p><b>GB</b> : gros bois</p> <p><b>GF</b> : surface terrière feuillus (m<sup>2</sup>/ha)</p> <p><b>GGB</b> : surface terrière gros bois (m<sup>2</sup>/ha)</p> <p><b>GR</b> : surface terrière résineux (m<sup>2</sup>/ha)</p>	<p><b>H0</b> : hauteur dominante (m)</p> <p><b>MNH</b> : modèle numérique de hauteur</p> <p><b>N</b> : densité (t/ha)</p> <p><b>Nb</b> : nombre</p> <p><b>PB</b> : petits bois</p> <p><b>p100GGB</b> : % de G gros bois</p> <p><b>R<sup>2</sup></b> : coefficient de détermination (% de la variabilité prédit/mesuré expliquée par le modèle)</p>	<p><b>Segma</b> : algorithme de segmentation des couronnes d'arbres dans le nuage LiDAR (développé B. St-Onge, Univ. du Québec à Montréal)</p> <p><b>V</b> : volume (m<sup>3</sup>/ha)</p> <p><b>Var</b> : variable</p> <p><b>% F/R</b> : % feuillus / résineux (en G)</p>
--	--	--

## Présentation de la méthode de modélisation « par individus » utilisée ici

### Principe

La méthode de modélisation des paramètres forestiers utilisée repose sur une détection d'individus (couronne d'arbre et apex) à partir des données LiDAR (voir schéma ci-après). Cette méthode est bien adaptée aux peuplements à dominante résineuse.

1. La détection des couronnes d'arbres a été réalisée à l'aide l'outil Computree (<http://computree.onf.fr>) en utilisant la chaîne de traitement SEGMA mise au point par B. ST-ONGE (Université du Québec) qui permet de délimiter les enveloppes des arbres à partir d'un modèle numérique de hauteur (MNH) LiDAR. Pour chaque individu détecté on calcule des indicateurs de hauteur, de surface, de volume et de forme du houppier.
2. Les données terrain ont été appariées avec les détections LiDAR : c'est-à-dire qu'on a fait correspondre chaque arbre terrain positionné avec sa détection LiDAR (apex). On obtient ainsi un jeu de données échantillon contenant pour chaque individu les informations relevées sur le terrain (essence, diamètre ...) et issues du LiDAR (hauteur, surface, forme de couronne ...).
3. Des modèles de prédiction de l'essence et du diamètre, à l'individu, ont ensuite été calibrés à partir de l'échantillon apparié. Les régressions randomforest utilisent des variables explicatives de forme, de surface et de hauteur de couronne ainsi des informations stationnelles comme l'altitude et l'exposition.
4. Afin d'estimer les paramètres forestiers tels que la surface terrière ou le diamètre moyen, les modèles de prédiction de l'essence et du diamètre ont été appliqués à l'ensemble des apex détectés. Puis le calcul, à la placette de 7 ares, a consisté à faire la somme ou la moyenne des apex sur la placette. L'estimation directe des paramètres forestiers présente souvent un biais qu'il est nécessaire de corriger par l'application d'une régression linéaire.

### Cas des peuplements non précomptables

Les hauteurs des apex précomptables permettent de définir les placettes ou les cellules de cartographie qui seront considérées comme  $< \emptyset$  précomptable (ici 17.5 cm) et donc avec un capital = 0.

- La valeur de « h\_min1\_apex » (ici = 13 m) correspond à la hauteur minimum des apex des arbres précomptables. On considère que tous les apex dont  $H < h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) correspondent à des arbres non précomptables.
- La valeur de « h\_min2\_apex » (ici = 16 m) correspond à la hauteur maximum des apex précomptables. On considère que tous les apex dont  $H > h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 16 m) sont précomptables.

En résumé,

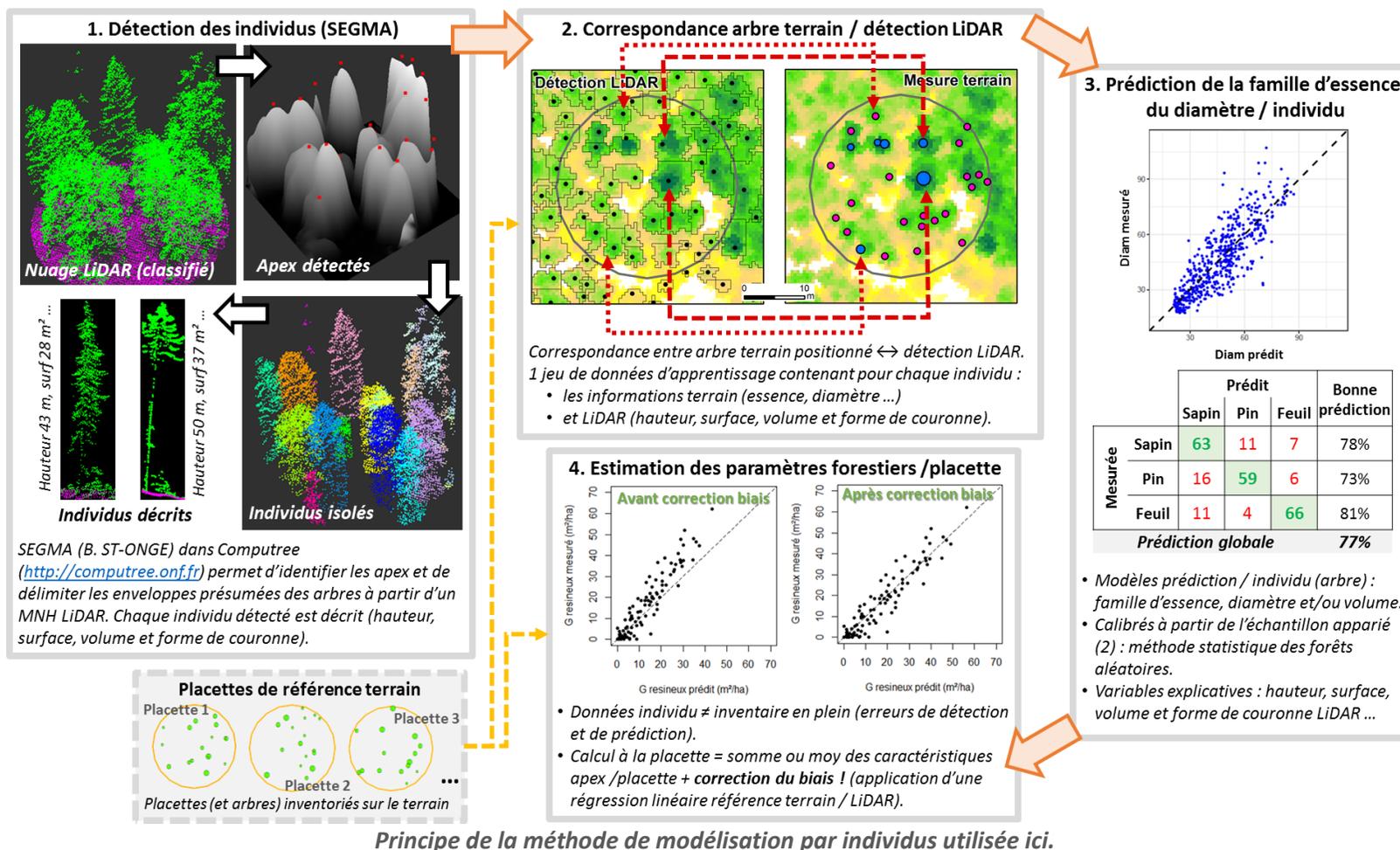
- Tous les apex d'une hauteur  $< h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) sont exclus (supprimés)
- Sur une placette de N ares (ou une cellule de cartographie)
  - si tous les apex ont une hauteur  $< h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) = placette non précomptable (exclue des modèles et mise à 0 en cartographie)
  - si au moins 1 apex d'une hauteur  $> h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 16 m) = placette précomptable (utilisée en modélisation et en cartographie)
  - si plus de N -1 des apex (ici 6 pour 7ares) ont une hauteur comprise entre  $h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) et  $h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 16 m) = placette précomptable (utilisée en modélisation et en cartographie)
  - si moins de N -1 des apex (ici 6 pour 7ares) ont une hauteur comprise entre  $h_{\text{min1\_apex}}$  (ici 13 m) et  $h_{\text{min2\_apex}}$  (ici 17 m) = placette non précomptable (exclue des modèles et mise à 0 en cartographie)

## Avantages et limites de la méthode

Cette méthode, bien adaptée aux peuplements à dominante résineuse, est relativement générique et utilise des indicateurs LiDAR qui ont un sens d'un point de vue biologique : des arbres individualisés et décrits à partir du nuage LiDAR.

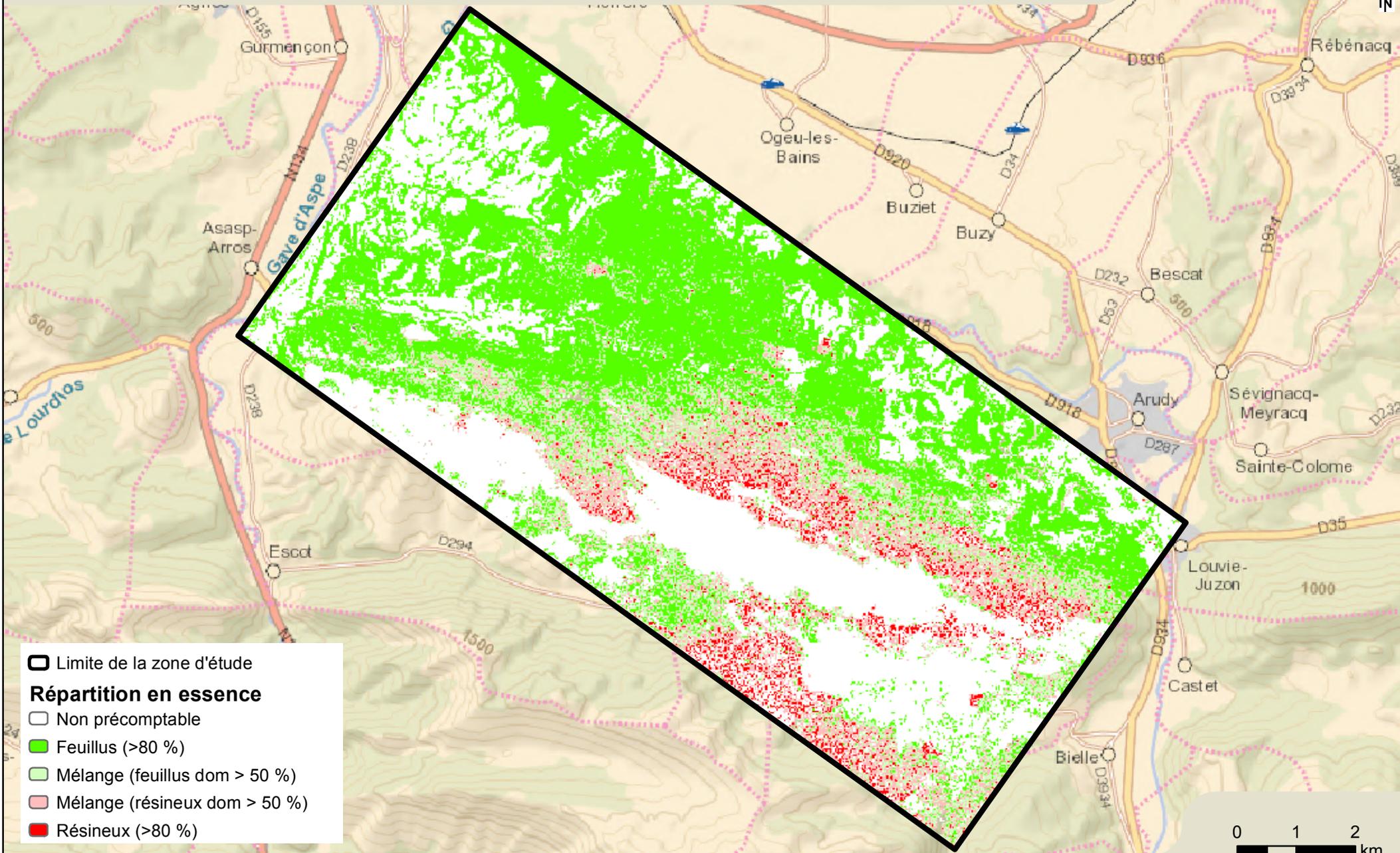
Bien que la méthode soit robuste, elle présente aussi certaines limites :

- La détection des couronnes d'arbres est réalisée sur l'ensemble du site à partir d'un paramétrage unique qui s'adapte bien aux types de peuplements les plus représentés mais parfois moins bien aux types moins représentés ou particuliers pouvant provoquer des biais.
- La description de chaque individu (prédiction du diamètre, de l'essence) est réalisée à partir d'indicateur comme la hauteur, la surface et la forme de couronne. Il s'agit d'une relation « d'allométrie » qui ne permet pas toujours de distinguer les très gros bois : les arbres très matures ne se distinguent plus à partir de leur hauteur ou de leur taille de couronne.



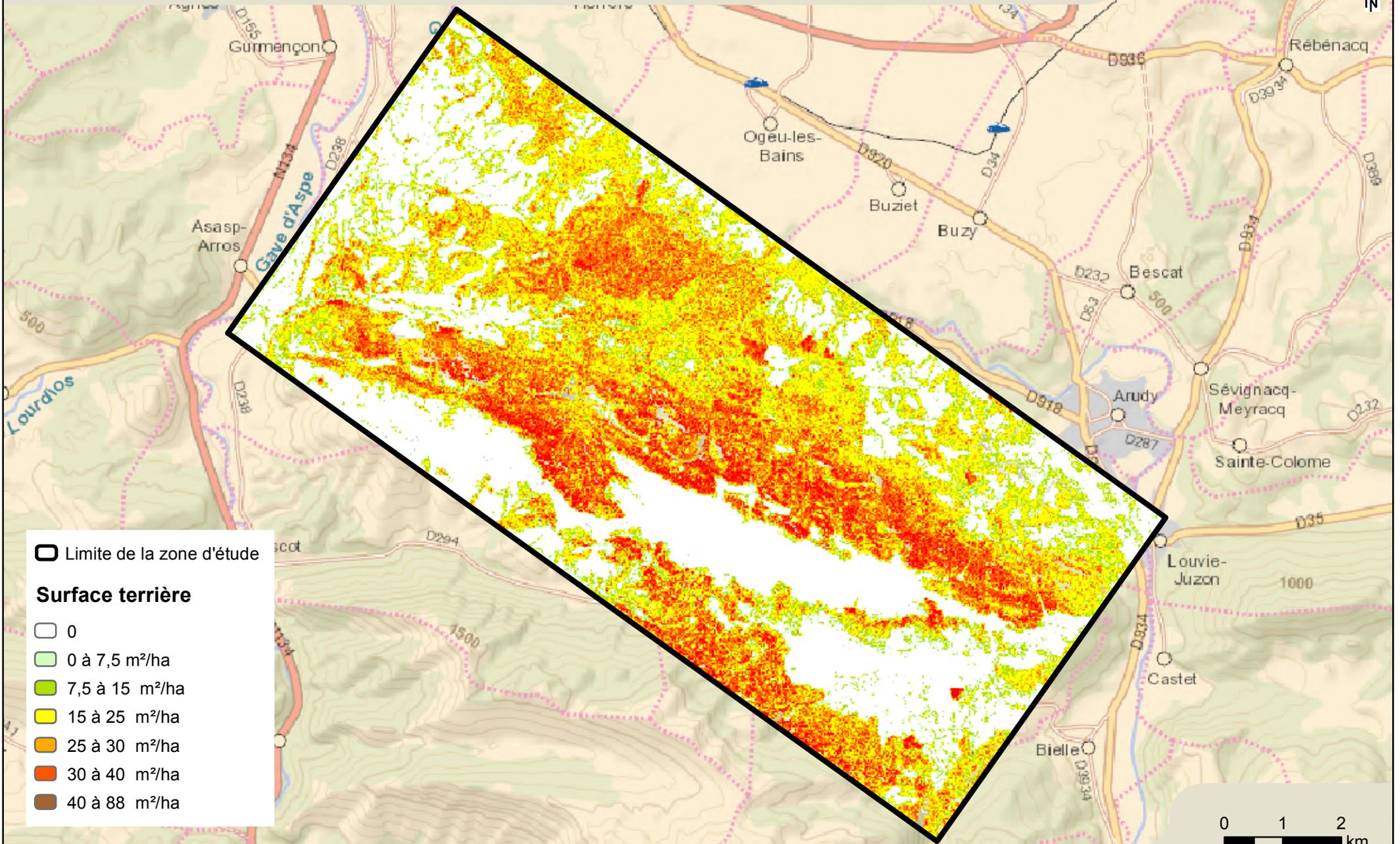
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Répartition Feuillus / Résineux - Oloron-Ste-Marie



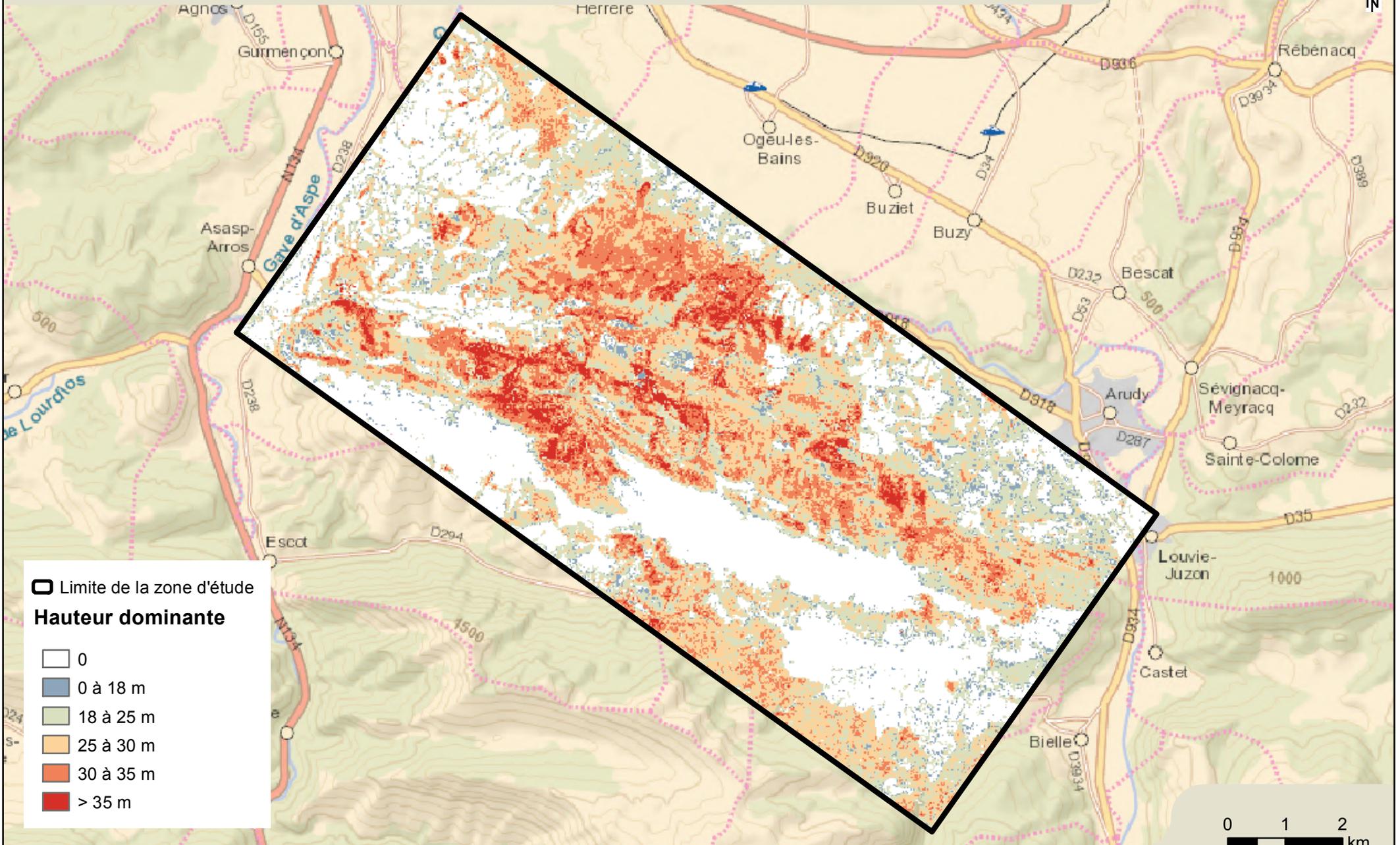
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Surface terrière - Oloron-Ste-Marie



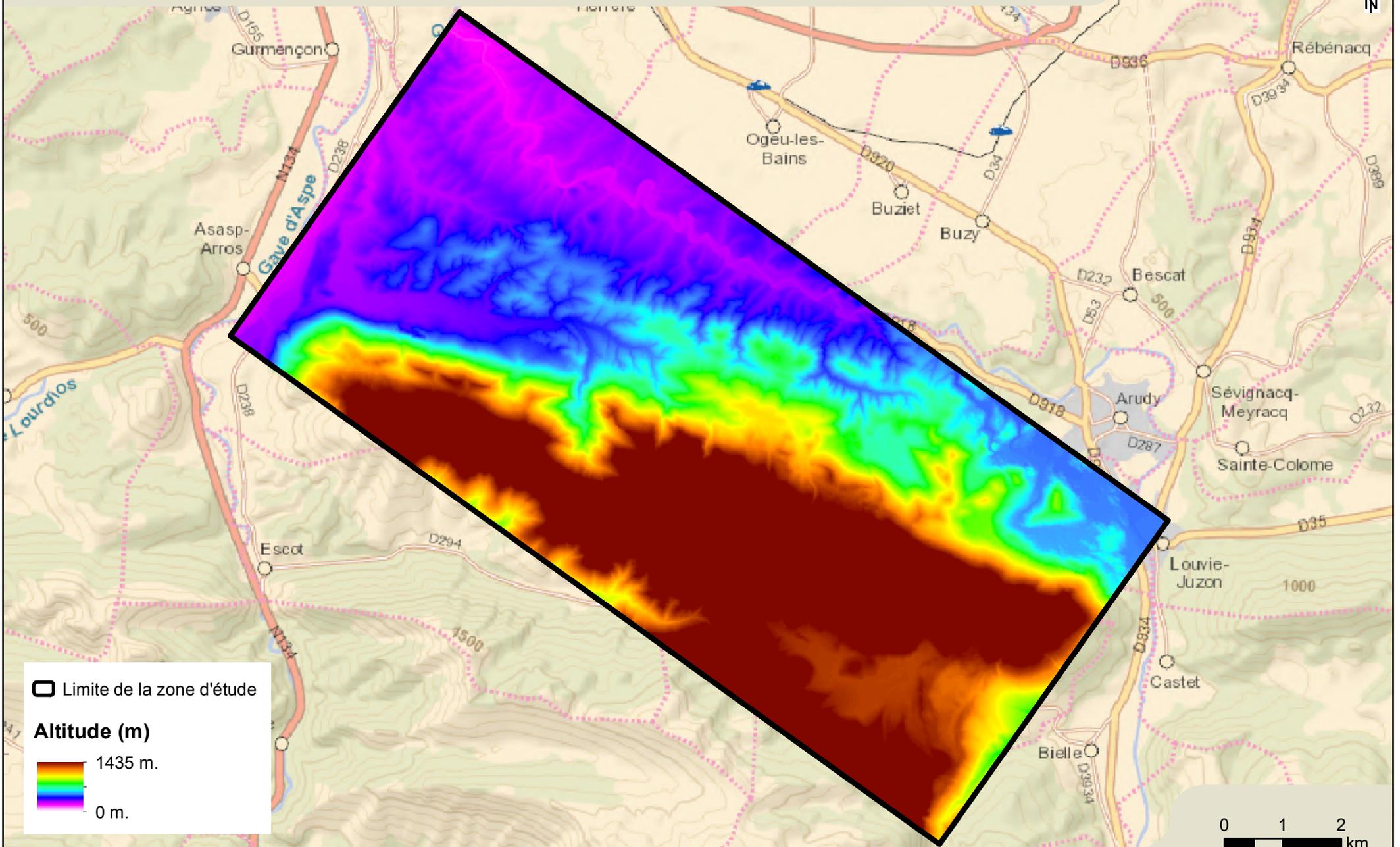
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Hauteur dominante - Oloron-Ste-Marie



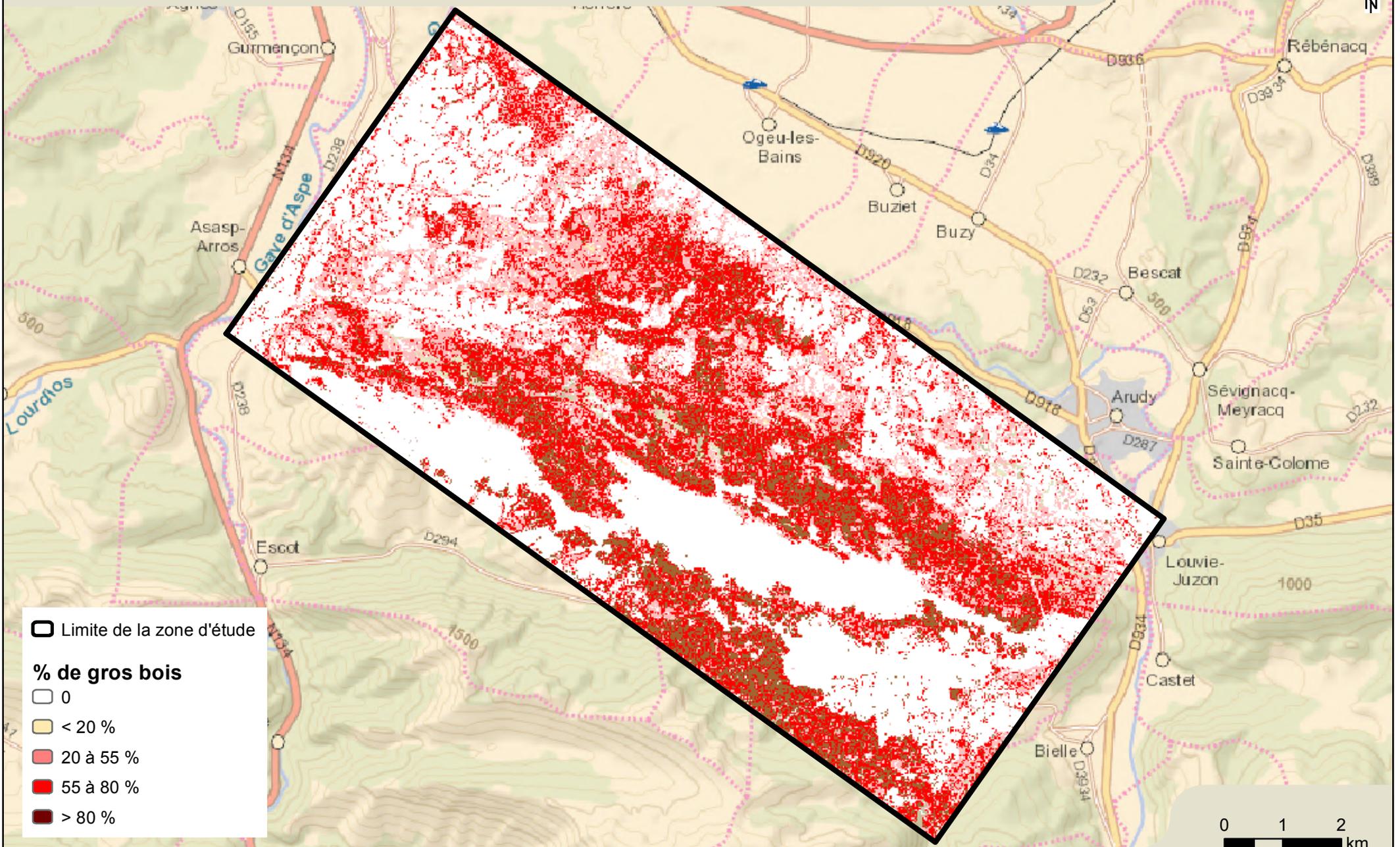
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Modèle numérique de terrain (MNT) - Oloron-Ste-Marie



# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Pourcentage de gros bois - Oloron-Ste-Marie



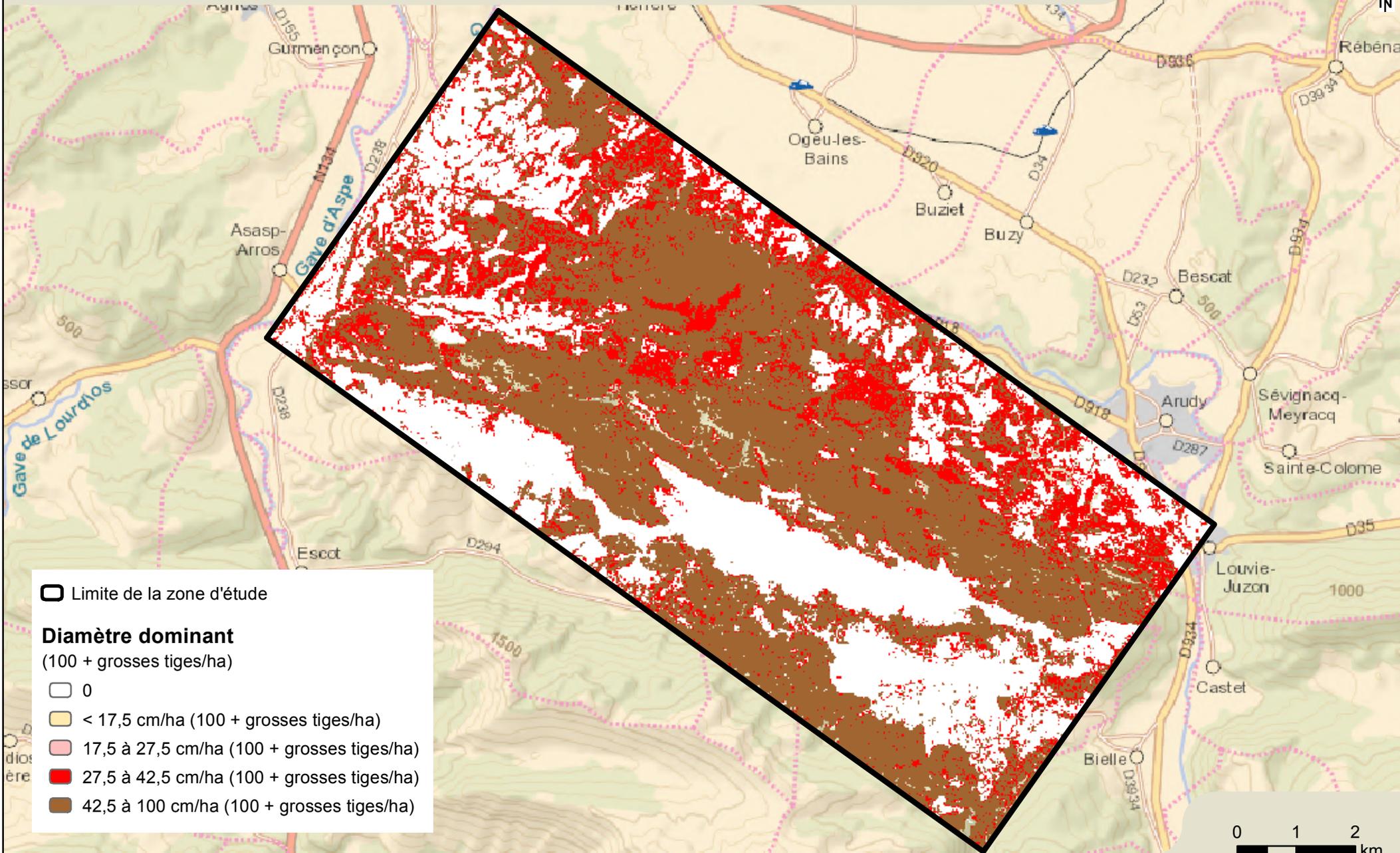
# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Pente (%) - Oloron-Ste-Marie



# MOBILISATION DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE ET GESTION MUTUALISÉE ENTRE LA FORÊT PRIVÉE ET PUBLIQUE À L'AIDE DU LIDAR

## Diamètre dominant - Oloron-Ste-Marie





**Office National des Forêts**

Agence territoriale des  
Pyrénées – Atlantiques  
2 rue Justin Blanc  
64000 PAU