

RAPPORT TECHNIQUE

« *Évaluation de l'impact du changement climatique sur l'évolution des écosystèmes forestiers* »



Avec le soutien / Con el apoyo

Mots clés : Pyrénées, changement climatique, suivi des écosystèmes forestiers, Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique.

Rédaction : E. ROUYER (CRPF Midi-Pyrénées), P. MARTY (CRPF Languedoc-Roussillon) et S. CHAUVIN (GEIE FORESPIR).

Relecture : Ph. BERTRAND (CRPF Midi-Pyrénées), E. LIBIS (CRPF Midi-Pyrénées).

Sources : ROUYER E., MARTY P., CHAUVIN S. et BERTRAND Ph., *Cadrage technique et analyse de l'existant – Evaluation de l'impact du changement climatique sur l'évolution des écosystèmes forestiers*, OPCC, 136p.

Sommaire

1. L'OBSERVATOIRE PYRENEEN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

2. L'ACTION "ÉVALUATION DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉVOLUTION DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS" - Axe "Forêt" de l'OPCC

- 2.1. Présentation de l'action et objectifs
- 2.2. Sélection de zones de référence
- 2.3. Choix des indicateurs
- 2.4. Besoins en données

Tome I : Analyse des données existantes disponibles

3. PRESENTATION DES RESEAUX DE SUIVI EXISTANTS

- 3.1 Le réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers
- 3.2 Les suivis nationaux et régionaux
 - 3.2.1 – Paramètres multiples
 - 3.2.2 – Santé des forêts
 - 3.2.3 – Phénologie
 - 3.2.4 – Distribution des espèces végétales

4. UTILISATION DES DONNEES EXISTANTES DANS LE CADRE DE L'OPCC

- 4.1. Indicateur « Santé des forêts »
- 4.2. Indicateur « Phénologie »
- 4.3. Indicateur « Changement de distribution des espèces végétales »
- 4.4. Conclusions

Tome II : Placettes complémentaires

5. DISCUSSIONS ET DEFINITION DU PROTOCOLE

- 5.1. Les relevés phénologiques
 - 5.1.1. Objectifs
 - 5.1.2. Echantillonnage
 - 5.1.3. Protocole
 - 5.1.4. Localisation des placettes
- 5.2. Les relevés floristiques
 - 5.2.1. Objectifs
 - 5.2.2. Echantillonnage
 - 5.2.3. Protocole
 - 5.2.4. Localisation des placettes

Tome III : Analyse des données et premiers résultats

6. INDICATEUR « SANTE DES FORETS »

- 6.1. Bilan des données des réseaux existants
- 6.2. Données complémentaires
- 6.3. Lien avec la télédétection

7. INDICATEUR « PHENOLOGIE »

- 7.1. Bilan des données des réseaux existants
- 7.2. Données complémentaires
- 7.3. Lien avec la télédétection

8. INDICATEUR « CHANGEMENT DE DISTRIBUTION DES ESPECES VEGETALES »

- 8.1. Bilan des données des réseaux existants
- 8.2. Données complémentaires
- 8.3. Lien avec la télédétection

BIBLIOGRAPHIE

La Communauté de Travail des Pyrénées (CTP) a créé, le 14 janvier 2010, un Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique afin de mieux suivre et comprendre les évolutions du climat à l'échelle des Pyrénées et de développer un cadre d'actions partagé entre ses membres (la CTP est constituée des Régions d'Aquitaine, de Midi-Pyrénées, de Languedoc-Roussillon, des Communautés Autonomes espagnoles d'Euskadi, de Navarre, d'Aragon et de Catalogne ainsi que de la principauté d'Andorre).

L'objectif de l'Observatoire est d'anticiper les impacts du changement climatique pour donner la possibilité aux secteurs socioéconomiques et aux gestionnaires de milieux naturels de s'adapter à ses effets grâce à la définition de stratégies idoines. Le travail de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique, animé par les membres de la CTP et par l'intervention de groupes de travail thématiques associant les acteurs du territoire, est suivi et encadré par un Conseil Scientifique.

Les actions de l'Observatoire sont les suivantes :

- Mutualiser les connaissances existantes sur les impacts du changement climatique dans les Pyrénées et capitaliser les savoir-faire de chacun.
- Analyser la vulnérabilité des milieux naturels au changement climatique et étudier son impact sur les enjeux socio-économiques.
- Préparer des recommandations et des conseils opérationnels pour permettre une meilleure adaptation des activités économiques et des milieux naturels en favorisant le développement harmonieux du massif et de ses populations.
- Informer de façon pédagogique la société civile et les acteurs socio-économiques.
- Contribuer à développer la visibilité européenne et internationale des Pyrénées en matière d'observation et d'adaptation au changement climatique et soutenir la mise en réseau de l'Observatoire au niveau européen.

Cet Observatoire n'est pas conçu comme une nouvelle structure mais comme une plateforme durable d'échanges entre politiques, scientifiques et acteurs du territoire Pyrénéen. Il a vocation à être à la fois un outil d'aide à la décision pour les politiques et les décideurs du territoire de la CTP mais également un outil de sensibilisation pour le grand public et les populations locales.

En mai 2011, afin d'impulser et soutenir les travaux de l'OPCC, la CTP a répondu à un appel à projet du Programme Opérationnel de Coopération Territoriale Espagne-France-Andorre 2007-2013 avec pour objectif :

- de mettre en place les outils et les méthodes qui permettront de renseigner un premier jeu d'indicateurs du changement climatique dans les Pyrénées,
- de mieux comprendre les impacts du climat sur quelques thématiques prioritaires du Massif,
- d'identifier des possibles stratégies d'adaptation pour faire face aux conséquences de ces changements,
- d'offrir un outil d'aide à la décision en termes d'adaptation au changement climatique pour l'ensemble des acteurs du territoire de la CTP,
- d'impulser la création d'un réseau d'acteurs sur l'ensemble du massif pyrénéen et d'identifier les synergies possibles entre les projets en cours et à venir,
- de diffuser le plus largement possible les résultats de l'OPCC pour garantir la sensibilisation et l'information de la société civile et des acteurs socio économiques du Massif.

Ce projet, qui a été programmé en février 2012, s'articule ainsi autour de 6 thématiques (Climat, Biodiversité, Forêt, Risques Naturels, Eau et Télédétection) et réunit 12 partenaires intervenant plus spécifiquement sur chacune de ces thématiques (pour plus d'information : www.opcc-ctp.org).

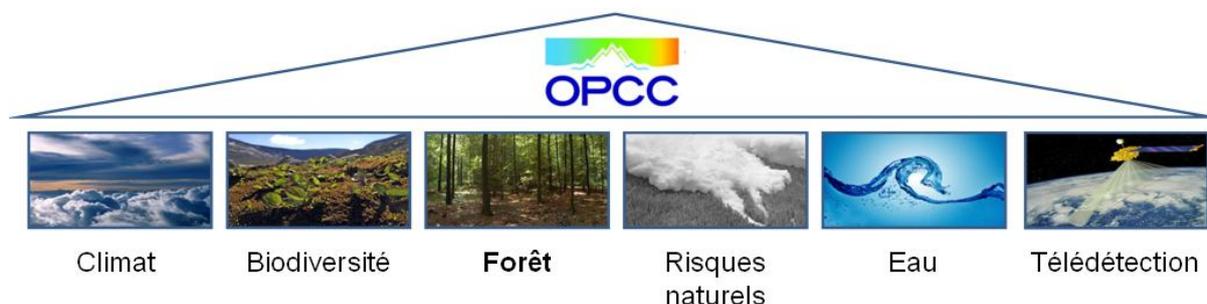


Figure 1 : Schéma thématique de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques.

Plusieurs partenaires forestiers ⁽¹⁾ se sont ainsi réunis autour de deux coordinateurs (FORESPIR et le Bureau de Recherche Géologique et Minière - BRGM) pour mener à bien les actions en lien avec les thématiques "Forêt" et "Risques Naturels" en développant un programme d'action axé sur deux volets :

- l'étude de l'impact du changement climatique sur les risques naturels et sur l'évolution du rôle de protection des forêts pyrénéennes ;
- l'étude de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes forestiers et sur l'évolution des forêts pyrénéennes (objet du présent document).



Figure 2 : Partenaires des axes "Forêts" et "Risques naturels" de l'OPCC.

¹ Centres régionaux de la Propriété Forestière (CRPF) de Midi-Pyrénées et de Languedoc-Roussillon, Office National des Forêts (ONF) et son service Restauration des terrains en Montagne (RTM), Institut pour le Développement forestier (IDF), la Generalitat de Catalunya, le Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC) et la Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental (SARGA).

2 - L'ACTION "ÉVALUATION DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉVOLUTION DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS" – Axe « Forêt » du projet de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique

2.1 – Présentation de l'action et objectifs

L'action menée par FORESPIR, ses membres et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) a pour objectif de :

- Proposer et mettre en œuvre localement une classification partagée des forêts de montagne Pyrénéennes, en précisant leur rôle de protection contre les risques naturels et leur capacité d'adaptation face aux évolutions climatiques ;
- Mettre à la disposition de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique des données de suivi d'indicateurs d'impact du changement climatique et d'effectuer les premiers relevés selon un protocole partagé ;
- Proposer des techniques d'intervention qui permettront de protéger ces forêts de montagne Pyrénéennes et/ou de maintenir leur fonction de protection contre des aléas en pleine évolution ;
- Confronter les préconisations d'interventions forestières à mettre en place pour le futur des forêts de montagne avec les incidences du changement climatique sur les écosystèmes forestiers.

Les indicateurs de notre action qu'il est proposé de suivre (et qui ont été défini suite à une large concertation encadrée par le Conseil Scientifique de l'OPCC) sont :

- l'évolution cartographique des territoires à fort risque naturel,
- l'évolution du débit naturel/restitué des eaux de surface
- le suivi piézométrique des eaux souterraines
- l'évolution des aléas et de leurs conséquences en lien avec les techniques d'amélioration des fonctions de protection des forêts.
- la détection de changements dans la distribution des essences, de changements d'altitude et d'exposition
- l'évolution phénologique de certaines essences (Hêtre, Pin à crochet, Pin sylvestre et Sapin)
- la détection de pathologies et signes de dépérissements forestiers

Pour ce faire, l'action prévoit :

- d'appliquer sur des zones de référence réparties sur la chaîne Pyrénéenne une méthodologie cartographique franco-espagnole permettant de caractériser les aléas, les enjeux et le rôle de protection des forêts.
- de sélectionner sur ces zones de référence, des sites d'intervention sur lesquels seront analysées et testées différentes techniques d'intervention contre les risques naturels et leur évolutions possibles compte tenu des changements climatiques prévus.
- de sélectionner des placettes permanentes de suivi (sur nos zones et en dehors), réaliser un protocole commun de suivi des indicateurs et procéder aux premiers relevés et mesures.
- de proposer des mesures d'adaptation différenciées selon les contextes.

La mise en regard des deux axes de travail de cette action (évaluation des incidences du changement climatique tant sur les risques naturels et le rôle de protection des forêts de montagne que sur les

écosystèmes forestiers de montagne) permettra de dégager des préconisations d'intervention pour le futur des forêts de montagne en :

- définissant des critères pour la gestion des forêts de montagne qui tiennent compte du facteur changement climatique,
- formulant des orientations de gestion en fonction des différents contextes et des différents enjeux,
- mettant en parallèle, sur la base de différents paramètres de diagnostics bioclimatiques, les critères faisant qu'une station forestière est soumise à un risque particulier face aux évolutions climatiques.

Cet important travail transfrontalier donnera un poids conséquent aux recommandations issues de ces actions pilotes, dans une dynamique continue de recherche, d'analyse comparative, d'adaptation et de développement des meilleures pratiques pour, d'une part, améliorer la résilience et la mitigation des forêts pyrénéennes et, d'autre part, contribuer à la sécurité des populations et des infrastructures de ce massif.

2.2 – Sélection de zones de référence

Afin de mener à bien ces actions, le projet prévoit la sélection de 6 zones de référence réparties sur les territoires des partenaires investis dans la réalisation du projet. Un document présentant précisément la méthodologie de sélection et les principales caractéristiques de chaque zone ayant été édité, nous ne ferons ici qu'en présenter les grandes lignes.

Au cours de l'élaboration de la présente action, les partenaires ont défini une liste précise de critères de sélection issus des nombreuses réunions techniques qui ont été organisées entre les partenaires des axes "Forêt" et "Risques Naturels", mais également avec des partenaires d'autres actions du projet OPCC (notamment ceux de l'action transversale "Télé-détection").

Ces critères, dont la liste était volontairement exhaustive, nous a conduit à sélectionner des zones dont les caractéristiques (géographiques, géologiques, écologiques, forestières, etc.) permettent de répondre aux objectifs que les partenaires se sont fixés. Compte tenu du nombre important de critères, les partenaires ont présélectionnés plusieurs sites potentiels selon des critères prédominants (présence d'aléas, d'enjeux, couvert forestier, influence climatique, essences forestières présentes) liés à l'objectif de renseignement des indicateurs de l'impact du changement climatique sur les risques naturels et sur les écosystèmes forestiers.

Dans le but d'affiner la sélection, les partenaires se sont réunis afin de discuter des atouts et des faiblesses de chaque site potentiel. Pour appuyer leurs choix sur des données précises, un important travail de recueil, de compilation et d'analyse de données a été nécessaire. Ce travail a permis la réalisation d'un certain nombre de cartes, et, grâce à l'ensemble de ces données, les partenaires chargés de la sélection des zones de référence ont été en mesure de solliciter l'avis des agents de terrain locaux.

En parallèle à ce travail et afin d'établir les principales caractéristiques géologiques des sites potentiels, le BRGM a réalisé une analyse des composantes liées au sol et au sous-sol.

Ce travail a conduit à la sélection des 8 zones suivantes :

- zone des Eaux-Bonnes (région Aquitaine – Pyrénées-Atlantiques),
- zone de Saint-Béat (région Midi-Pyrénées – Haute-Garonne),

- zone d’Ustou (région Midi-Pyrénées – Ariège),
- zone de Py (région Languedoc-Roussillon – Pyrénées-Orientales),
- zone de Escos (Catalogne – Pallars Sobira),
- zone de Benasque (Aragon – Huesca),
- zone d’Opakua (Pays basque – Alava),
- zone de Canillo (Andorre).

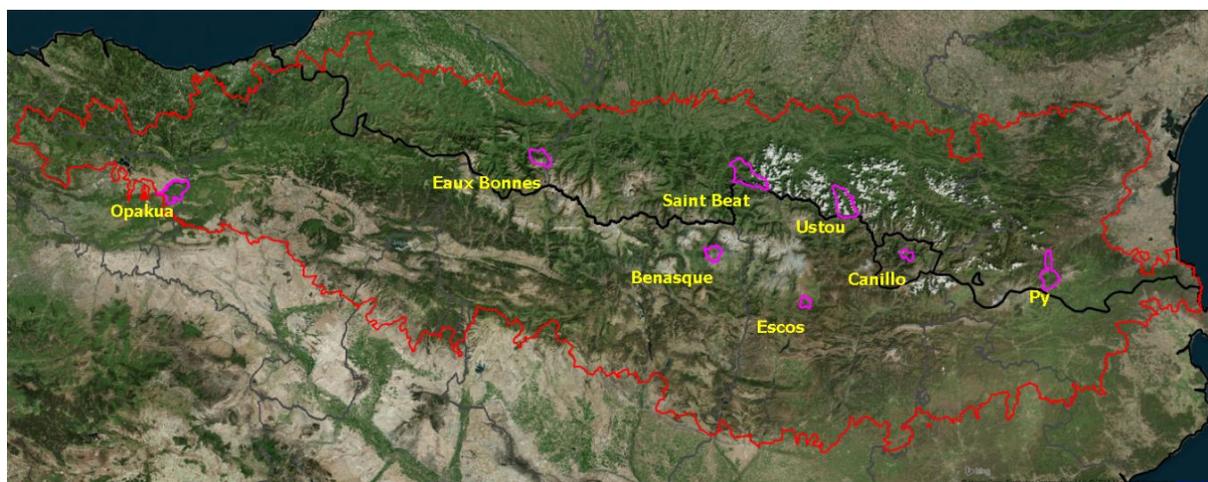


Figure 3 : Contours des zones de référence sélectionnées dans le cadre de l'action "Evolutions Climatiques et Forêt de Montagne – Projet EFA 235/11 OPCC.

Sur ces zones seront notamment réalisés :

- **VOLET 1 – Diagnostics :**
 - Les cartographies des risques naturels, des enjeux et des peuplements forestiers (selon une méthodologie partagée).
 - Les analyses géomorphologiques, bioclimatiques, forestiers, écologiques et socio-économiques.
- **VOLET 2 – Suivi et expérimentation :**
 - La sélection d'une partie des placettes de suivi des indicateurs d'impact du changement climatique et la réalisation de relevés.

2.3 – Choix des indicateurs

Comme présenté ci-avant, la mise en œuvre de cette action dite "Forêt" a pour but d'évaluer l'incidence des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers et recherche donc à atteindre les objectifs fixés par l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques, à savoir : mettre en œuvre le suivi à long terme d'un jeu d'indicateurs d'impact.

Pour rappel, ces indicateurs de suivi des effets du changement climatique ont été proposés par l'OPCC, suite à un important travail de recueil et de compilation des données disponibles à l'échelle du massif par les quatre groupes de travail thématiques associant les acteurs socioprofessionnels du territoire, encadré par un Conseil Scientifique.

En raison de la diversité des répercussions possibles, plusieurs indicateurs ont été retenus. Les motivations du choix de chacun d'entre eux sont détaillées ci-après.

- **EVOLUTION DE LA PHENOLOGIE (DATE DE DEBOURREMENT)**

Dépendant exclusivement des conditions météorologiques, la phénologie est un reflet fidèle du climat annuel. Indicateur à court terme, il permet de comparer annuellement les différences concernant les cycles biologiques de développement des espèces.

⇒ ***Cerner l'intensité du changement climatique ...***

- **EVOLUTION DE PATHOLOGIES OU DE FAIBLESSES**

Indicateur d'ordre sanitaire, il s'avère multifactoriel puisqu'il ne dépend pas uniquement des conditions climatiques. D'autres paramètres, tels que les attaques parasitaires, sont également à l'origine de dépérissements qu'ils aient été ou non affaiblis par des conditions climatiques défavorables (sécheresse...). Ces dépérissements sont souvent progressifs et liés à la répétition d'événements climatiques défavorables. Il s'agit donc d'un indicateur à moyen terme (entre 10 et 20 ans).

⇒ ***... en déterminer l'impact sur la vitalité des arbres ...***

- **EVOLUTION DES AIRES DE DISTRIBUTIONS DES ESPECES VEGETALES (ALTITUDE, EXPOSITION...)**

À long terme, les dépérissements pourraient se traduire par des modifications en termes de répartition des espèces. À l'occasion du dépérissement d'espèces devenues inadaptées, d'autres pourraient prendre les niches écologiques ainsi libérées. Ces possibles modifications dans les paysages (remontée en altitude) dépendront, certes, des conditions climatiques, mais également d'autres facteurs, notamment anthropiques, tel que l'utilisation des sols (agricoles, forestiers...).

⇒ ***... afin d'envisager les perspectives forestières.***

Précisons que cette action ne constitue pas un travail de recherche scientifique mais répond à une demande des gestionnaires forestiers et acteurs locaux. Pour la mener à bien une implication des acteurs scientifiques est recherchée, les finalités clairement identifiées demeurant :

- de valoriser le travail commun français, espagnol et andorran entamé dans le cadre du monitoring européen de la santé de forêts et contribuer à rapprocher des méthodologies de suivi qui demeurent différentes (bien que proches),
- de densifier, au besoin, les réseaux de suivi existants tout en répondant à une demande locale Pyrénéenne,
- de sensibiliser les acteurs, les élus et la société civile autour de l'impact du changement climatique sur notre massif et ses incidences sur les écosystèmes forestiers, les risques naturels et le rôle de protection que jouent certaines forêts de montagne.

En effet, afin de mettre en œuvre le suivi des indicateurs, il a été clairement affiché, et ceci dès la rédaction du projet, la volonté d'intégrer les réseaux de suivi des écosystèmes forestiers déjà existants, notamment au niveau européen, et ceci pour deux raisons principales :

- d'une part afin de valoriser ce qui existe déjà, non seulement en termes de données, mais également en termes d'expérience dans la mise en œuvre de protocoles de relevés

(permettant ainsi d'être plus efficace à l'heure de développer un protocole commun transfrontalier),

- d'autre part afin de bénéficier plus rapidement de conclusions sur les effets des changements climatiques puisque ces réseaux bénéficient de plus de 20 ans de mesures.

2.4 – Besoin en données

La première étape d'analyse des réseaux existants, détaillée ci-après, consiste donc à :

- Présenter les principaux réseaux de suivi sur lesquels notre action propose de se baser,
- Établir le bilan des données mobilisables qu'il est possible d'intégrer au volet forestier de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatiques,
- Présenter quelques enseignements de l'analyse menée sur les premiers jeux de données récupérés.

Au terme de cette analyse, il sera ainsi possible d'évaluer si les données existantes sont suffisantes pour répondre aux questions implicitement posées par les indicateurs :

- Observe-t-on une remontée en altitude, des changements d'exposition ou une progression/régression vers l'Ouest des essences arborées (hêtre, sapin pectiné, pin sylvestre et pin à crochets) ou des espèces herbacées forestières ?
- Observe-t-on une dégradation de l'état de santé des arbres dans le temps (pour le hêtre, le sapin pectiné, le pin sylvestre et le pin à crochets) ?
- Peut-on différencier une dégradation de l'état sanitaire des arbres selon l'essence, l'altitude, l'exposition ou encore le gradient Est-Ouest ?
- Observe-t-on un décalage phénologique de la strate arborée (pour le hêtre, le sapin pectiné, le pin sylvestre et le pin à crochets) ?
- Peut-on différencier ce décalage phénologique des arbres selon l'essence, l'altitude, l'exposition ou encore le gradient Est-Ouest ?

Le présent document permettra de mieux raisonner notre réseau de suivi et ainsi d'identifier :

- les dispositifs existants dont les données sont réutilisables dans le cadre de l'OPCC,
- les paramètres sous-échantillonnés et qui mériteraient, pour répondre à nos objectifs, un complément d'échantillonnage.

En effet, s'il s'avérait que des données sont insuffisamment échantillonnées, il sera opportun, dans une seconde étape, de considérer l'opportunité d'implanter de nouvelles placettes pour compléter le réseau que l'on proposera à l'Observatoire (cf. partie 4 "Protocole").

En outre, il convient de coupler notre action au travail transversal de télédétection réalisé sur l'ensemble de la chaîne pyrénéenne. En effet, les suivis de placettes au sol s'avèrent souvent longs et coûteux. La télédétection peut alors être envisagée comme une alternative intéressante pour peu que l'on puisse interpréter les résultats des traitements d'image. En cela, l'OPCC constitue une possibilité de travail complémentaire intéressante et il faut s'attacher à ce que notre échantillonnage puisse satisfaire également aux besoins des laboratoires de télédétection.



OPCC

OBSERVATOIRE PYRÉNÉEN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
OBSERVATORIO PIRENAICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
OBSERVATORI PIRINENC DEL CANVI CLIMÀTIC
OBSERVATORI PIRENENC DEL CAMBIAMENT CLIMÀTIC
KLIMA ALDAKETAREN PIRINIOETAKO BEHATOKIA

Action "Evolutions Climatiques et Forêt de Montagne" (Axes "Forêt" et "Risques Naturels")
Acción "Evoluciones Climáticas y Bosques de Montaña" (Ejes "Bosque y "Riesgos Naturales")

Les partenaires / Los socios :



Appui technique :
Apoyo técnico :



Tome I : ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES DISPONIBLES



Avec le soutien / Con el apoyo



Pourquoi réaliser cette note ?

Dans le cadre du projet de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques (EFA 235/11 – "OPCC"), une des actions engagée consiste à mettre en œuvre un réseau de suivi devant permettre l'évaluation du devenir des écosystèmes forestiers pyrénéens compte tenu des évolutions climatiques prévisibles. Ce document de cadrage s'attache à décrire la démarche adoptée pour la constitution de ce réseau.

Dans un premier temps, elle recadre notre action au sein de l'OPCC en en précisant les objectifs et les limites.

Puis, partant des initiatives existantes en la matière, ce document décrit les données, tant espagnoles, françaises, qu'Andorranes utilisables pour constituer le réseau. Dans cet objectif, on y retrouvera, pour chaque indicateur retenu, le bilan des données existantes tout en faisant le lien avec nos besoins pour notre échantillonnage.

La réalisation de ce document fait suite à la réunion technique "Forêt" de l'OPCC qui s'est déroulée le 22/10/2012. Cette réunion avait pour objectif de déterminer plus précisément les besoins en données existantes, de définir conjointement les modalités d'utilisation de ces données et de proposer la définition d'un protocole commun de suivi des indicateurs de l'OPCC pour la forêt.

Ont participé à cette réunion :

- le CRPF de Midi-Pyrénées (MM. Ortisset, Bertrand, Rouyer),
- le CRPF de Languedoc-Roussillon (M. Mariton, Mlle Marty),
- le Groupement FORESPIR (M. Chauvin),
- l'ONF (M. Maugard, Mme. Daubet),
- l'IDF (M. Drénou),
- l'EI Purpan (Mme. Cheret),
- le CREAf (M. Vayreda – Membre du Conseil Scientifique de l'OPCC),
- l'Institut National de la Recherche Agronomique (M. Dupouey – Membre du Conseil Scientifique de l'OPCC),
- le Département Santé des Forêts / MAAP / DRAAF Aquitaine (M. Aumonier)
- le Réseau National de suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers - RENECOFOR (M. Nicolas).

Avec l'appui de :



Département de la santé des forêts



Govern d'Andorra



RENECOFOR
(Réseau National de suivi à long terme des
ECOSystèmes FORestiers)

3 – PRESENTATION DES RESEAUX DE SUIVI EXISTANTS

3.1 – Le réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers

Il s'agit du réseau de placettes auquel les partenaires de l'OPCC se sont le plus intéressé en raison de sa couverture spatiale homogène et transfrontalière et de la qualité et de la multiplicité des données relevés sur des placettes permanentes installées au début des années 90. Ce réseau étant de portée européenne, il permettra de regrouper un ensemble des données comparables entre partenaires français, espagnols et andorrans.

On distingue deux niveaux à ce réseau :

- * Niveau I (Département Santé des Forêts en France / Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement en Espagne / Gouvernement d'Andorre) : suivi statistique systématique, selon une maille de 16 km, et annuel de certains paramètres sanitaires.
- * Niveau II (RENECOFOR en France / Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement en Espagne) : suivi précis sur certaines parcelles expérimentales d'un ensemble de paramètres dendrométriques, sanitaires, écologiques, stationnels, météorologiques...

L'historique de ce réseau remonte aux années 80, au cours desquelles la santé des forêts en Europe s'est progressivement dégradée de façon très manifeste, suscitant une inquiétude générale tant des acteurs forestiers que de la société dans son ensemble.

Soupçonnant que cela soit la conséquence de la dégradation de la qualité de l'air et des pluies acides en résultant, les acteurs forestiers soulignèrent la nécessité de mettre en place un réseau de suivi des écosystèmes forestiers qui intègre de nombreux paramètres. En réponse à ces préoccupations, le Programme de Coopération Internationale pour l'Évaluation et le Suivi des Effets de la Pollution Atmosphérique sur les Forêts ⁽²⁾ est lancé en 1985.

Parallèlement, en 1986, la Communauté européenne adopte le Programme de protection des forêts contre la pollution atmosphérique. Le règlement (CEE) n° 3528/86 pose alors la base juridique pour la mise en œuvre de la surveillance et du contrôle de la santé des écosystèmes forestiers.

Ce système de surveillance a été par la suite conforté par plusieurs résolutions de Conférences Ministérielles sur la protection des forêts en Europe (www.mcpfe.org), comme par exemple les résolutions S1 de Strasbourg (1990), H1 d'Helsinki (1993), L2 de Lisbonne (1998) et les résolutions de la 4^{ème} Conférence ministérielle de Vienne en 2003.

Le suivi de l'état et de l'évolution des forêts en Europe à travers les Réseaux de Suivi des Forêts a donc été mis en œuvre jusqu'à aujourd'hui en vertu de ces deux programmes:

- Le programme des Nations Unies "ICP Forêts" qui a développé différents protocoles de travail (manuels) pour chacune des activités et programmes de travail visés.
- Les différents Règlements Communautaires que l'Union Européenne a élaborés pour servir de base juridique et financière.

² Le programme ICP (www.icp-forêts.org) est encadré par la Convention pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (LRTPA de la CEE).

Les objectifs du réseau ont toutefois quelque peu évolué au long de ses 20 années d'existence, évolutions principalement liées aux orientations stratégiques suivies à l'échelle européenne en matière de forêts. Dans un premier temps, les objectifs étaient triples :

1. Evaluer les variations spatio-temporelles de la santé des forêts en regard des possibles facteurs de stress, notamment la pollution de l'air.
2. Comprendre l'impact et les effets des polluants atmosphériques et autres agents nocifs sur les écosystèmes forestiers.
3. Intégrer les interactions entre les différentes composantes de l'écosystème soumises à des conditions de stress et de la pollution atmosphérique.

Le premier objectif d'analyse spatiale a conduit à la création d'un réseau systématique de points (maillage de 16 km x 16 km couvrant toute l'Europe) pour l'étude à grande échelle d'un petit nombre de paramètres facilement mesurables concernant la vitalité des arbres. L'ensemble de ces points constitue le niveau I du réseau de suivi des écosystèmes forestiers comme l'illustre la carte ci-dessous.

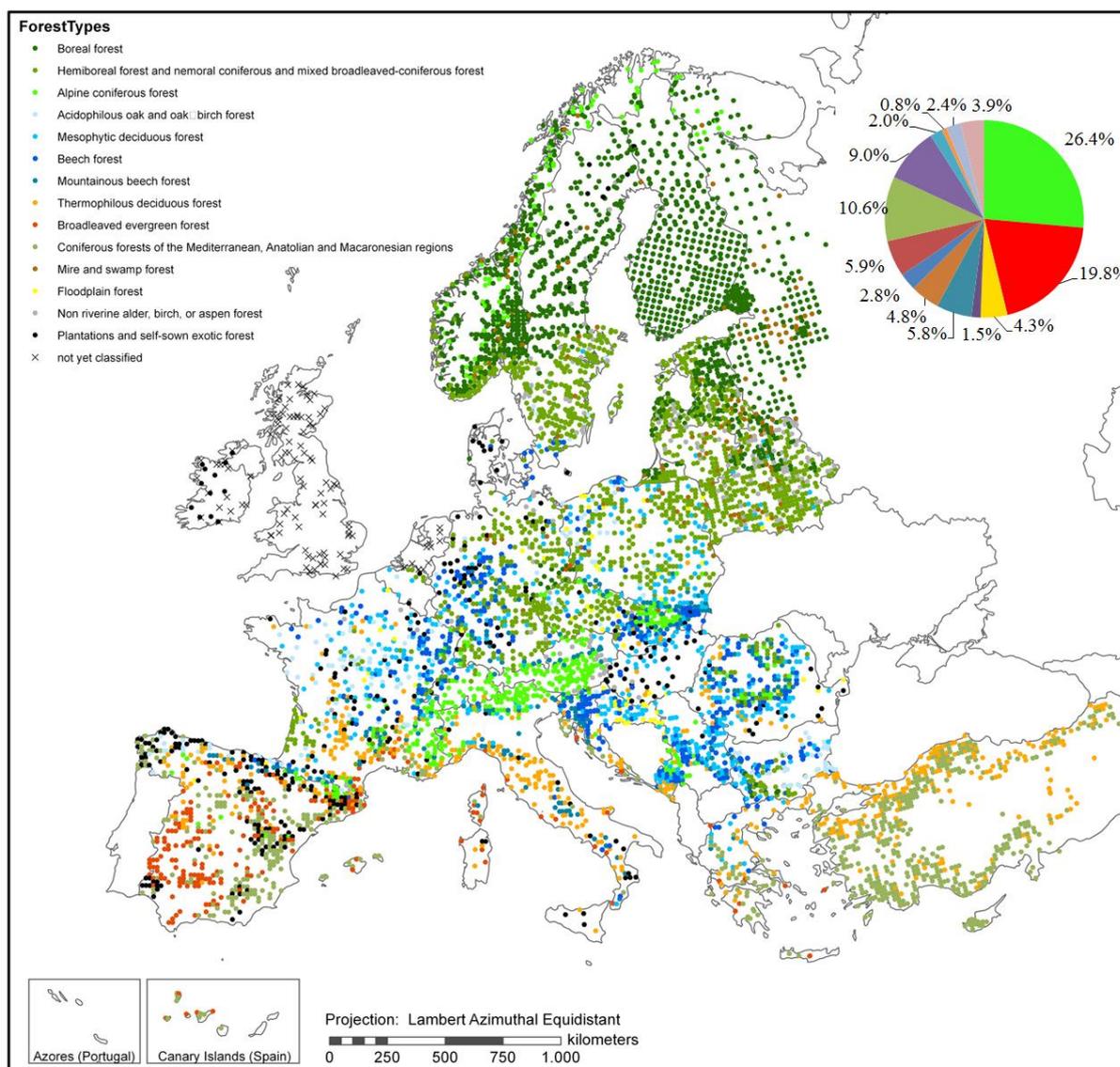


Figure 4 : Distribution et type forestier des placettes de niveau I du réseau de suivi.

Pour répondre aux deux derniers objectifs, le réseau de niveau II a été créé. Il regroupe une série de parcelles expérimentales, bénéficiant d'une instrumentation spécifique, dont l'objectif est une surveillance intensive et continue de nombreux paramètres dendrométriques, écologiques, stationnels, météorologiques... En fonction du niveau d'intensité de suivis, un nombre plus ou moins important de variables est étudié sur les placettes. Ce réseau est présenté par la figure 3 ci-après.

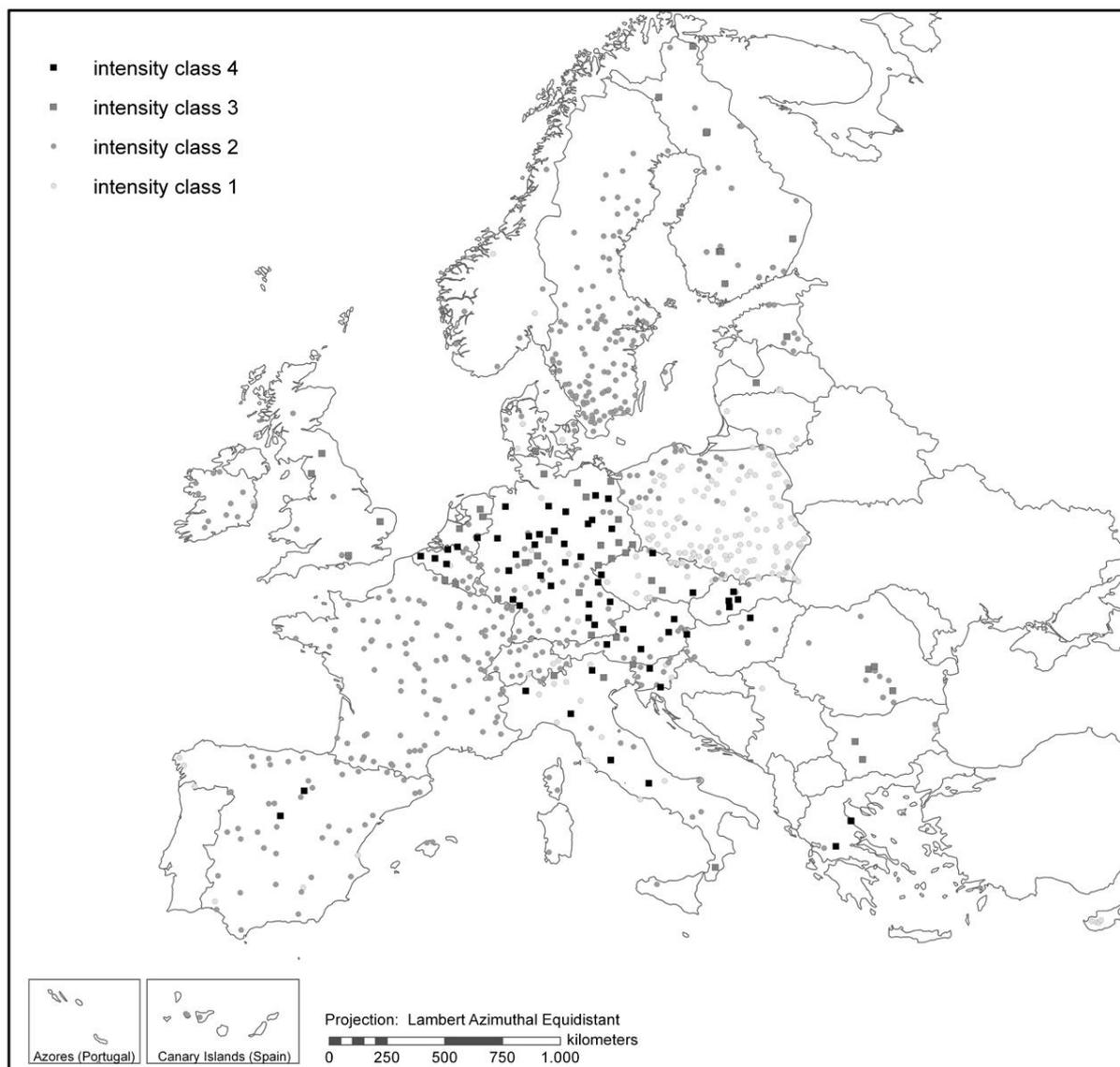


Figure 5 : Répartition spatiale et intensité de suivi des placettes de niveau II du réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers.

En 2003, avec l'entrée en vigueur du Règlement Européen 2152/2003 sur le suivi des forêts et des interactions environnementales dans la Communauté (Forest Focus), le réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers a vu ses objectifs fondamentaux s'élargir. La conservation de la biodiversité forestière, la contribution des forêts à atténuer les effets du changement climatique (rôle de puits de carbone) et le développement des pratiques de gestion durables ont ainsi clairement été identifiés comme objectifs fondamentaux complémentaires.

À l'heure actuelle, les bases juridiques et financières des réseaux européens viennent du règlement CE n°614/2007 du Parlement Européen et du Conseil concernant L'Instrument Financier pour l'Environnement (LIFE+).

Ce nouveau fonds, qui remplace et élargit les champs d'action de l'ancien programme LIFE (contribuer à la mise en œuvre, la mise à jour et le développement de la politique et de la législation en matière d'environnement) a été approuvé le 23 mai 2007 avec effet rétroactif, sa période d'application étant de cinq ans (du 1 janvier 2007 au 31 décembre 2013).

Dans ce cadre, les représentants nationaux de l'ICP Forests dans les États membres de l'Union Européenne et la communauté scientifique internationale ont élaboré le « Système Européen de Suivi des Forêts ».

Ce système se base sur un certain nombre de projets multinationaux visant à améliorer et à étendre le système de suivi des forêts qui depuis plus de 20 ans a été mené en Europe via les réseaux européens.

Un de ces projets, « Further development and implementation of an EU-level forest monitoring system » (FutMon), a été approuvé à l'automne 2008b par la DG Environnement de la Commission Européenne. Ce projet, cofinancé au titre de LIFE+ et entré en vigueur dans la quasi-totalité des pays de l'Union Européenne le 1^{er} janvier 2009, est coordonné par le même organisme qui avait conduit le programme ICP Forests (l'Institut vTI à Hambourg, Allemagne). Il a pour objectif principal d'optimiser les réseaux de suivi des écosystèmes forestiers à vocation européenne et nationale afin de mieux être en phase avec les interrogations environnementales actuelles et de garantir la poursuite des actions de surveillance des forêts en Europe.

Actuellement, 39 pays participent aux travaux effectués en vertu du programme ICP Forests et 24 d'entre eux participent également en tant que bénéficiaires associés au projet FutMon. Les travaux comprennent des évaluations des méthodes normalisées et constituent une importante plate-forme pour l'échange de connaissances sur la santé des arbres dans les écosystèmes forestiers européens.

Les résultats et les recommandations issues de ces études fournissent la base scientifique des décisions politiques sur le contrôle de la pollution de l'air et d'autres politiques environnementales visant à protéger notre environnement naturel.

Au final, le tableau 1, ci-dessous, fait la synthèse des variables mesurées par chaque niveau du réseau. Signalons que ponctuellement pour le niveau I du réseau (maillage 16 X 16 km) deux campagnes de relevés floristiques ont été réalisées : la première en 1993-1994, complétée en 1999 et la deuxième en 2006-2007, dans le cadre du programme BIOSOL. Ces relevés sur placettes permanentes à un intervalle d'une dizaine d'années peuvent constituer un début de suivi systématique de la flore. Cependant, il n'est *a priori* pas prévu de pérenniser le suivi dans les années à venir.

Tableau 1 : Liste indicative de variables mesurées sur les placettes du réseau européen.

Variables		Niveau I du réseau	Niveau II du réseau
Placette	<i>Observations</i>	Année d'observation	Année d'observation
		Observateurs	Observateurs
	<i>Géographiques</i>	Longitude	Longitude
		Latitude	Latitude
	<i>Topographiques</i>	Altitude	Altitude
		Exposition	Exposition
		Pente	Pente
	<i>Pédologiques</i>		Taux d'humidité des sols
			Poids sec de la litière
			Description physico-chimique des sols
			Description physico-chimique de la litière
	<i>Floristique</i>		Description physico-chimique des solutions aqueuses des sols
			Relevé floristique tous les 5 ans
	<i>Phénologie</i>		Date de débourrement
			Date de fleuraison
			Date de fructification
			Date de changement de coloration des feuilles
	<i>Echanges arbre/atmosphère</i>		Date de chute des feuilles/aiguilles
			Dépôts atmosphériques
	<i>Météorologiques</i>		Teneur en minéraux des feuilles/aiguilles
		Pression atmosphérique	
		Radiation solaire	
		Radiation UV	
		Précipitations	
		Humidité relative de l'air	
<i>Dendrologiques</i>		Vitesse du vent	
		Direction du vent	
		Age du peuplement	
		Surface terrière sur la placette	
		Volume sur la placette	
		Surface terrière des éclaircies	
		Volume des éclaircies	
		Espèce	
<i>Sanitaires</i>		Espèce	
		Classe sociale	
		Ombrage du houppier	
		Diamètre sur écorce à 1,3 m	
		Diamètre sous écorce à 1,3 m	
		Volume	
		Accroissement	
		Note globale de défoliation	
		Note globale de décoloration foliaire	
	Note globale de mortalité de branches		
	Symptôme sanitaire		
	Cause		
	Nom scientifique de la cause		
	Organes affectés		
	Autres observations		

3.2 – Les suivis nationaux et régionaux

D'autres réseaux de suivi des écosystèmes forestiers existent également aux niveaux nationaux et régionaux. Outre les réseaux plus généralistes (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique...) ou non forestiers (Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement Climatique de Poitou-Charentes...), plusieurs initiatives forestières méritent d'être détaillées dans le cadre de notre projet, soit pour la possibilité de réemploi de leurs données, soit pour l'intérêt de la méthodologie adoptée.

Ce sont autant d'exemples qui illustrent le besoin d'améliorer la connaissance sur l'évolution des forêts et des écosystèmes associés face aux évolutions climatiques.

Ils sont groupés ci-après en fonction des paramètres auxquels ils font référence.

3.2.1 – Paramètres multiples

L'Observatoire Régional des Ecosystèmes Forestiers (OREF)

Couvrant la région Nord-Pas-de-Calais-Picardie, l'Observatoire Régional des Ecosystèmes Forestiers (OREF), a pour objectif de suivre durablement les évolutions des écosystèmes forestiers pour évaluer l'impact des changements globaux sur la croissance, la santé des arbres et la biodiversité.

Ainsi, un réseau de placettes a été constitué en 2006 afin d'y étudier plus spécifiquement les problèmes phytosanitaires (dépérissements, pathogènes...), la météorologie, la botanique (inventaires floristiques), l'ornithologie (inventaires avifaunistiques) et les aspects sylvicoles (essence, traitement, croissance...). La phénologie quant à elle n'est pas évaluée directement sur les placettes mais est prise en considération via un réseau participatif de bénévoles : l'Observatoire des saisons.

Le protocole appliqué concernant les problèmes phytosanitaires est celui utilisé par le Département Santé des Forêts tant pour harmoniser les données que parce que le protocole est déjà éprouvé.

Au final, 37 placettes constituent ce réseau dont 15 du réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers (11 de niveau I et 4 de niveau II) et 22 spécialement créés pour l'occasion.

Les données ne seront bien évidemment pas utilisables pour notre étude, mais la démarche adoptée n'en reste pas moins intéressante et s'apparente grandement à ce qu'il serait souhaitable de mettre en œuvre dans le cadre de l'OPCC : réemploi de données existantes et complément d'échantillonnage pour couvrir les variabilités inhérentes à la zone d'étude.

3.2.2 – Santé des forêts

L'Observatoire départemental de l'état sanitaire des forêts des Alpes-Maritimes

Créé en 2007, son objectif est, sur une durée minimale de 15 ans, de suivre l'évolution des phénomènes de dépérissements apparus, notamment dans les sapinières du département.

Pour cela, deux approches complémentaires ont été adoptées : d'une part l'installation de placettes permanentes concernant 7 essences et d'autre part la cartographie départementale de la vulnérabilité des peuplements.

Concernant les paramètres suivis sur le réseau de placettes permanentes, le protocole du DSF a été directement appliqué en vue d'estimer la coloration anormale, les branches mortes et le déficit foliaire. En outre, l'infestation des houppiers de sapins par le gui a également été notée car considéré comme un bon indicateur de la vitalité des arbres.

Au final ce sont 60 placettes qui ont été implantées sur le département selon un échantillonnage stratifié par essence et par grappe, de sorte à constituer des transects altitudinaux.

Là encore, les données ne seront pas utilisables pour la mise en place de notre Observatoire, mais la démarche est comparable aux objectifs de l'OPCC. En outre, la méthode d'échantillonnage est intéressante puisqu'elle permet de s'intéresser à quelques essences en particulier (stratification).

Le positionnement en grappes est également intéressant pour deux raisons particulières : d'une part, il permet d'évaluer l'influence de l'altitude grâce aux transects et d'autre part, il minimise les déplacements réduisant d'autant le temps d'inventaire.

Densification du réseau de suivi des dépérissements en Catalogne

En Catalogne, les forestiers ont souhaité densifier leur réseau d'observation des dommages forestiers. Ainsi, partant de la maille carrée de 16 km de côté du réseau européen de suivi des écosystèmes, ils ont décidé de préciser l'échantillonnage des données sanitaires selon une maille carrée de 8 km de côté. Ainsi, aux 76 points existants dans le suivi européens, se rajoutent plus de 200 points d'inventaires sur lesquels sera appliqué le même protocole que celui employé pour le réseau européen. Au final, ce réseau représente 286 points de suivis sur le territoire catalan.

En cours de densification, l'ensemble des nouveaux points d'inventaire n'est pour le moment pas installé sur le terrain.

En complément de la densification du réseau dont il est fait mention ci-dessus, il existe, en Catalogne, d'autres actions de suivi de la santé des forêts, notamment le réseau DeBosCat. Promu par le Ministère de l'Agriculture de la Catalogne et coordonné par le Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), ce réseau vise à obtenir autant d'informations que possible sur l'état des forêts en temps réel pour tester les effets des phénomènes météorologiques extrêmes. Les informations peuvent être comparées et analysées chaque année pour faire des prédictions sur la vulnérabilité des forêts ou certaines espèces face au changement climatique et agir de façon proactive pour planifier la gestion future de la forêt en tenant compte de tous ces facteurs. Au total, pour 2012 les données d'environ 527 incidents de dépérissement ont été recueillies. En un an, le réseau DeBosCat a enregistré un total de 23 500 hectares de forêt avec des signes de faiblesse. Bien que la majorité des superficies touchées ne soient pas irréversibles, les experts attribuent en grande partie de ce phénomène aux extrêmes sécheresses de printemps et d'été.

Densification du réseau de suivi des dépérissements en Andorre

La Principauté d'Andorre a également souhaité densifier le réseau européen d'observation des dommages forestiers de niveau 1 sur son territoire. Initialement composé de 3 placettes de maille 16 km² (Figure 4), les 72 arbres observés (30 de *pinus uncinata* et 42 de *pinus sylvestris*) distribués en fonction de l'étage de végétation ont été complétés par 8 nouvelles placettes de maille carrée de 4 km de côté (Figure 5). Ce sont donc 8 nouveaux points qui seront suivis selon le même protocole que celui employé pour le réseau européen niveau I.

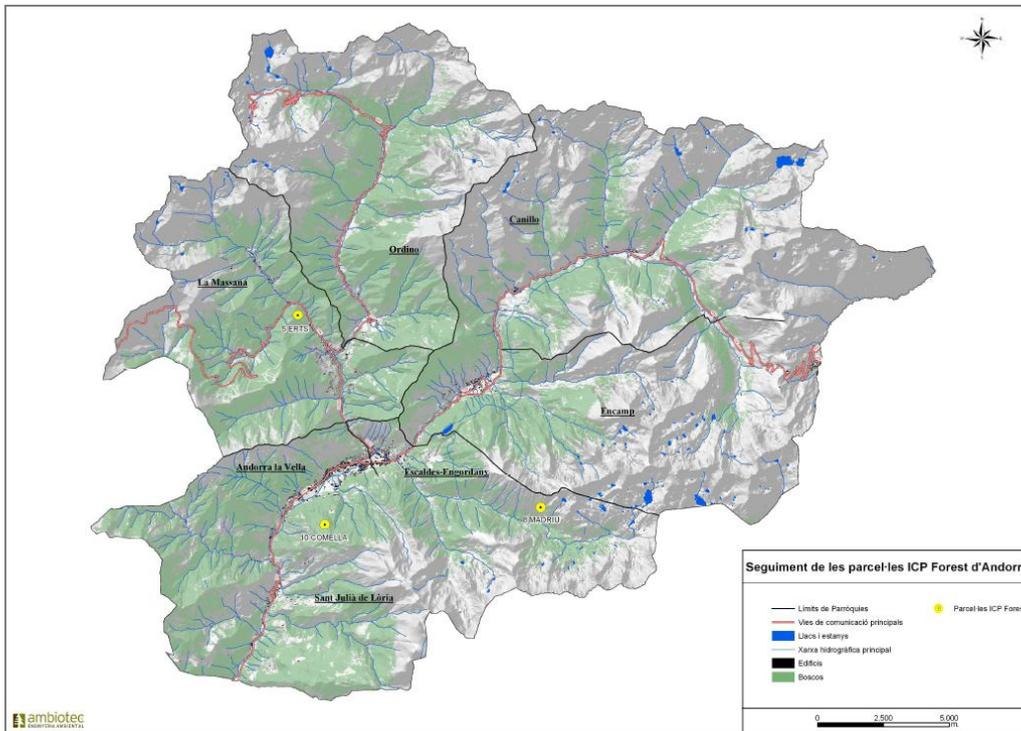


Figure 6 : Localisation des placettes du réseau européen d'observation des dommages forestiers de niveau I (placettes ICP FOREST) sur le territoire Andorran.

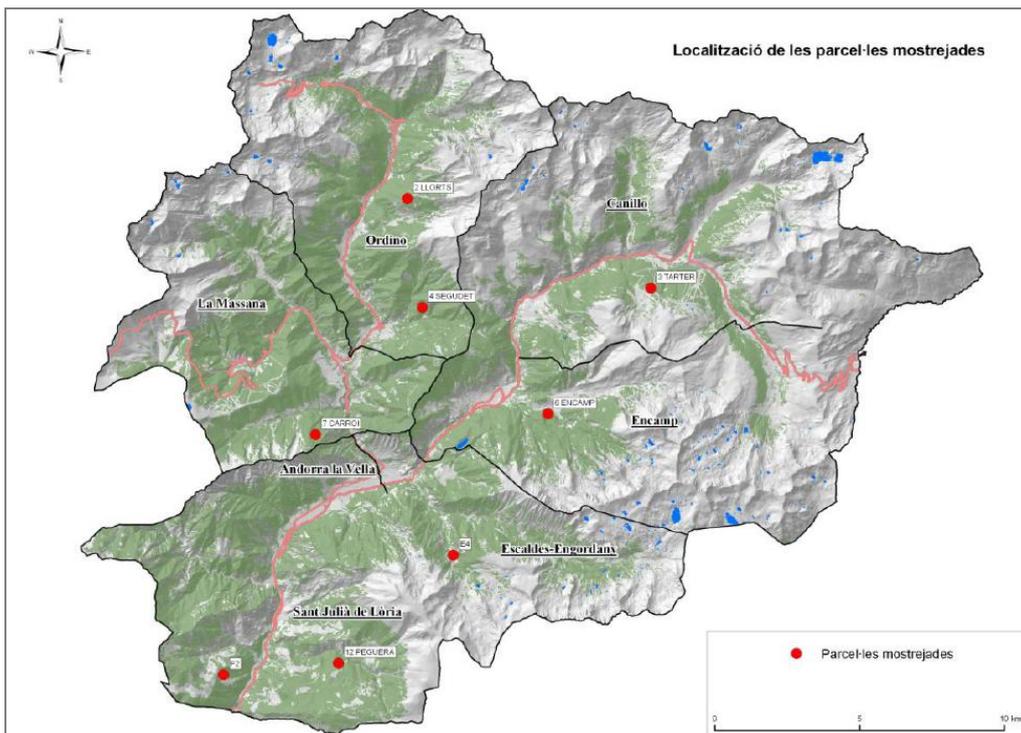


Figure 7 : Localisation des placettes complémentaires sur le territoire Andorran.

Le projet SILVAPYR

Afin de compléter son approche et de capitaliser également des résultats locaux de projets pyrénéens, notre action se propose d'utiliser le réseau développé dans le cadre de l'action "Protection Phytosanitaire des Forêts Pyrénéennes" du projet SILVAPYR 2006.

Il s'agissait, dans une perspective transfrontalière sur la chaîne montagneuse des Pyrénées, de caractériser et prévoir l'évolution des dépérissements forestiers, principalement sur le sapin pectiné (*Abies alba*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le pin à crochets (*Pinus uncinata*), le chêne liège (*Quercus suber*) et le châtaignier (*Castanea sativa*). L'objectif final de l'étude recherchée était de cartographier les dépérissements de ces espèces, mais également d'essayer des techniques de lutte afin d'en tester l'efficacité et vulgariser les résultats auprès des gestionnaires forestiers.

Des études spécifiques ont été approfondies sur les problèmes sanitaires les plus importants des Pyrénées, en particulier sur le gui (*Viscum album*) et autres agents pathogènes les plus fréquents, ainsi que sur les causes de mortalité des peuplements de sapin et de pin à crochets (changement d'utilisation des forêts, vieillissement, sensibilité à l'ozone du pin à crochets...).

L'identification des problématiques communes en France et en Espagne a fait ressortir notamment le cas du sapin pectiné. Des méthodologies conjointes, prenant toutefois en compte les spécificités de chaque zone, ont alors été conçues pour évaluer l'intensité des dépérissements du sapin sur la chaîne des Pyrénées. Ainsi, 34 placettes spécifiques de suivi des sapinières ont été implantées sur le versant français des Pyrénées.

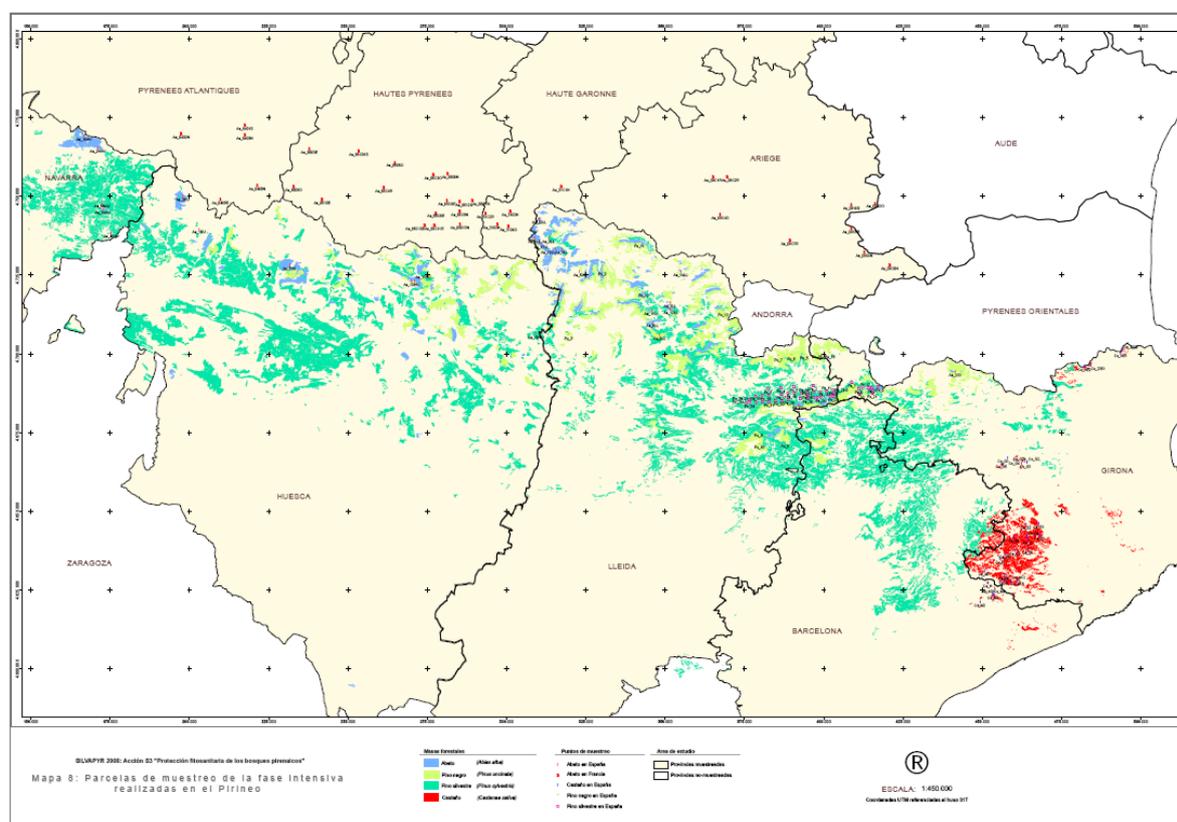


Figure 8 : Synthèse des peuplements espagnols et répartition des points d'inventaire mis en place dans le cadre de l'action S3 du projet SILVAPYR.

Dans chaque cas, des préconisations ont été formulées à l'intention des gestionnaires. L'incidence des problèmes sanitaires détectés dans cette étude confirmait, à cette époque, une vitalité et un état sanitaire des forêts pyrénéennes globalement satisfaisants. Il n'en demeure pas moins que la plupart des peuplements de la zone d'étude sont souvent dans des conditions naturelles et de stabilité difficiles et que leur non gestion pourrait provoquer des pertes irréversibles.

3.2.3 – Phénologie

L'Observatoire des saisons

Sous l'impulsion du CNRS, plusieurs partenaires se sont regroupés pour mettre en place un Observatoire participatif sur la phénologie des essences arborées. Son objectif est d'observer les rythmes saisonniers de la flore en plusieurs points du territoire français en compilant, via Internet, les observations d'observateurs amateurs volontaires. Basé sur un protocole de relevés simple et sur des acteurs directement implanté au cœur des territoires, cet Observatoire permet à moindres frais, d'obtenir des données dont la fiabilité est testée avant d'être intégrée à la base de données. Des formations sont notamment organisées et un ensemble de fiches pédagogiques est mise à disposition des notateurs par l'intermédiaire du site Internet de l'Observatoire des saisons.

Phénoclim

À l'instar de l'Observatoire des saisons, Phénoclim est également un observatoire participatif. Mis en place en 2004 par le Centre de Recherche sur les Écosystèmes d'Altitude, ce programme invite le public à mesurer l'impact du changement climatique sur la végétation en montagne. A l'origine focalisé sur les Alpes, le programme tend à s'étendre aux autres chaînes montagneuses, mais reste très peu représenté dans les Pyrénées.

Le projet FenoCAT

Le Service météorologique de Catalogne (SMC) a lancé le nouveau réseau phénologique de la Catalogne afin de faciliter l'étude de la relation entre les changements climatiques et les impacts sur la faune et la flore en Catalogne. Ce réseau compte sur l'appui scientifique de l'Institut Catalan d'Histoire Naturelle, l'Institut catalan pour l'ornithologie et le Musée d'Histoire Naturelle de Granollers. La première phase sera axée sur le suivi de 45 espèces (25 plantes, 14 oiseaux et les 6 papillons) indicatrices de la variation des conditions climatiques et écologiques et/ou économiques. Durant les premiers mois les observations seront réalisées par le personnel du Service météorologique de Catalogne mais il est ensuite prévu de mettre en place une observation participative ouverte à toute personne intéressée.

Les relevés phénologiques de l'UMR BIOGECO de l'INRA de Bordeaux

Dans le cadre d'un travail de recherche, l'unité mixte de recherche (UMR) Biodiversité, GENes et Communautés a installé un dispositif de suivi de la phénologie constitué de deux transects en vallée d'Ossau (Pyrénées Atlantiques) et des Gaves (Hautes-Pyrénées). A l'origine installé pour suivre 6 essences (Sapin pectiné, Erable sycomore, Frêne commun, Houx, Chêne sessile et Hêtre), selon un gradient d'altitude, allant de 100 à 1600 m (cf. figure 7), le dispositif a été allégé après deux ans de mesures. Ainsi, seules 22 placettes implantées en chênaies ou hêtraies, ont été maintenues et suivies pendant 8 ans (de 2005 à 2012). Ces observations ne seront pas renouvelées en 2013, mais reprendront peut-être les années suivantes en fonction des financements possibles.

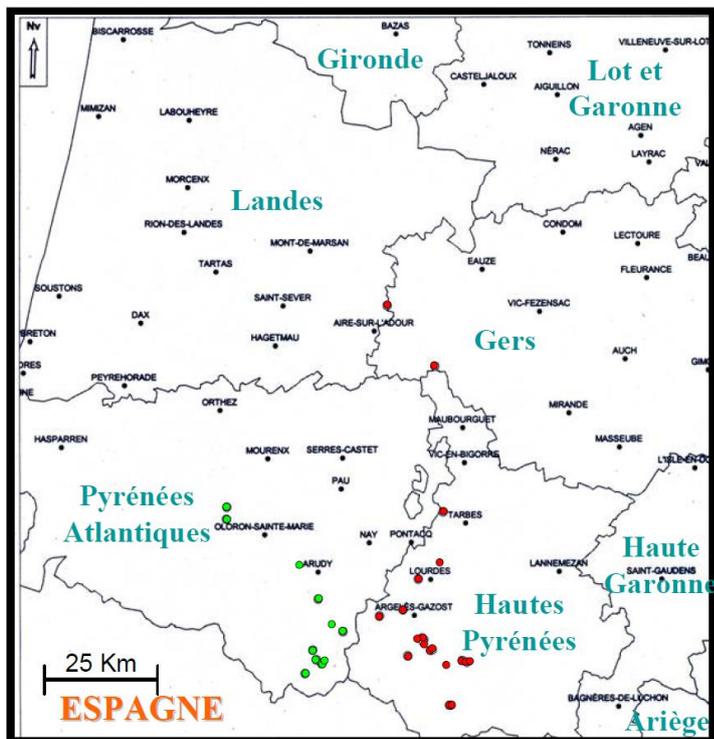


Figure 9 : Dispositif initial de suivi phénologique de l'INRA en vallée d'Ossau, en vert, et en vallée des Gaves, en rouge. (Vitasse, 2005)

Comme alternative aux mesures physiques au sol qui s'avèrent coûteuses, l'INRA s'est penché sur la possibilité d'observer les stades phénologiques grâce à la télédétection. Ainsi, en complément du protocole de relevés établis par l'UMR BIOGECO, l'unité de recherche EPHYSE de l'INRA de Bordeaux a implanté sur 8 des 20 placettes des sondes automatiques de mesures du rayonnement incident sous couvert. Pendant 3 ans, ces mesures de rayonnement au sol ont permis le calibrage avec les mesures de rayonnement perçu par les satellites. Ainsi, ces observations laissent envisager à l'avenir un suivi des phases phénologiques du chêne et du hêtre par analyse des images fournies par télédétection.

3.2.4 – Distribution des espèces végétales

L'Inventaire Forestier National (IFN)

Depuis de nombreuses années, l'IFN collecte des données sur l'ensemble des forêts métropolitaines afin de fournir les statistiques forestières nationales. À l'origine centrées sur l'inventaire de la ressource en bois, les données se sont peu à peu diversifiées et incluent maintenant de nombreux paramètres environnementaux, stationnel, floristiques, dendrométriques ou encore concernant le bois mort et la santé des forêts.

Avant 2005, chaque département était inventorié selon un pas de temps d'une douzaine d'année. Depuis 2005, un échantillonnage aléatoire systématique couvrant annuellement tous le territoire est appliqué. Le principe est basé sur un maillage systématique du territoire métropolitain selon une maille carrée de 1 km de côté. Chaque année on utilise un dixième des nœuds du réseau : grille systématique de 10 km². Les points sont alors choisis aléatoirement dans la maille de 1 km². Au final, l'inventaire annuel représente entre 7 000 et 8 000 points. En 10 ans, chaque kilomètre carré du territoire aura été couvert par l'inventaire.

Ces placettes n'étant pas permanentes, elles ne répondent pas forcément aux critères que s'est fixé l'OPCC. Cependant, cet inventaire permet d'obtenir des données de distribution spatiales des

essences forestières et espèces floristiques qui peuvent potentiellement être utilisées dans le but de faire des statistiques spatiales pour évaluer des potentiels changements dans la distribution.

Les données des Conservatoires Botaniques

Deux conservatoires botaniques produisent des données sur la chaîne Pyrénéenne : le Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles et le Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées.

Sur leur territoire respectif, ils ont en charge la constitution d'une base de données floristique regroupant principalement les relevés réalisés par les bureaux d'étude, les associations, et le personnel des Conservatoires Botaniques Nationaux.

Il s'agit de relevés « opportunistes » non réalisés dans le cadre d'un protocole de suivi spatiotemporel. La localisation des relevés est hétérogène, les données ne répondant pas à un protocole global d'inventaire mais à de très nombreuses études ponctuelles. Bien que finalement assez hétérogènes (notamment du fait de l'imprécision de localisation), les données existantes n'en demeurent pas moins intéressantes pour notre étude, tant par l'échelle de travail qui couvre l'ensemble du massif français que par la quantité de données disponibles.

4 – UTILISATION DES DONNEES EXISTANTES DANS LE CADRE DE L'OPCC

La description, dans les paragraphes précédents, des réseaux de suivis déjà existants a mis en évidence l'intérêt d'utiliser certaines données pour la constitution du réseau de suivi des impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques.

Il convient donc, parmi l'ensemble de ces données disponibles, d'identifier celles qui correspondent à nos centres d'intérêt. Ainsi, les paragraphes suivants s'attachent à cibler, point d'intérêt par point d'intérêt, ces sources de données.

4.1 – Indicateur « Santé des forêts »

Les niveaux I et II du réseau de suivi des écosystèmes forestiers nous permettent de disposer de données relatives au déficit foliaire, à la mortalité de branches ainsi qu'à la décoloration foliaire. Bien que mis en place en 1989, toutes les données ne sont pas valorisables depuis cette date, en raison d'évolutions des protocoles de prise de mesure.

Ainsi, les données de déficit foliaire sont relevées depuis 1989, mais ont subi un changement de protocole en 1994. Un temps d'adaptation au nouveau protocole a été nécessaire et ces données sont ainsi considérées comme stables et harmonisées depuis 1997.

La mortalité de branche est relevée depuis 2005, mais un changement de protocole en 2011 ne permet pas de rendre les données comparables sur le long terme.

Il en va de même pour la décoloration foliaire qui est relevée depuis 2004 mais dont deux changements de protocoles en 2005 et 2011 ne rendent pas les données comparables sur le long terme. En outre, il ressort des discussions que ce paramètre est moins pertinent pour juger de l'état réel de santé des arbres.

L'Observatoire pourra ainsi être constitué de 154 placettes (45 en France, 98 en Espagne et 11 en Andorre), comme illustré par la carte ci-après. Distribuées de façon homogène sur l'ensemble de la chaîne des Pyrénées, elles concernent plus de vingt essences réparties sur l'ensemble des gradients d'altitude et d'exposition.

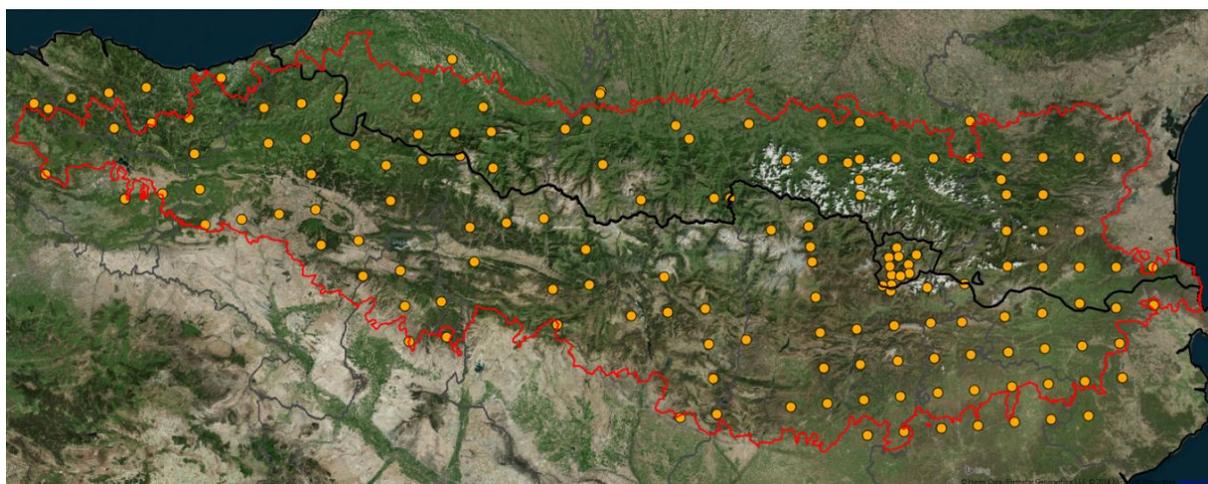


Figure 10 : Placettes du réseau européen valorisées pour l'étude de l'état sanitaire des forêts dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques.

Comme présenté dans la figure 11 ci-après les principales essences pour lesquelles nous souhaitons obtenir des données sont bien représentées dans l'échantillonnage :

- le hêtre (*Fagus sylvatica*) est bien représenté tant en France qu'en Espagne,
- le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et le pin à crochets (*Pinus Uncinata*) sont principalement rencontrés en Espagne ainsi qu'en Andorre,
- et le sapin pectiné (*Abies alba*) se cantonne essentiellement aux versants nord des Pyrénées françaises, d'où sa moindre représentation dans le réseau ainsi constitué.

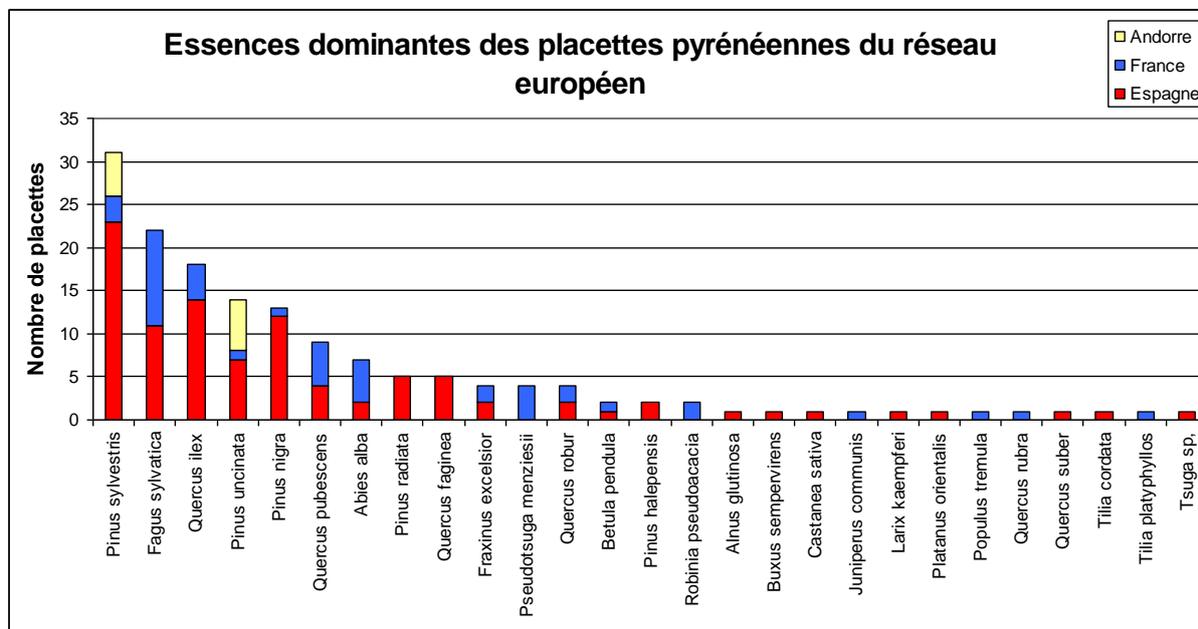
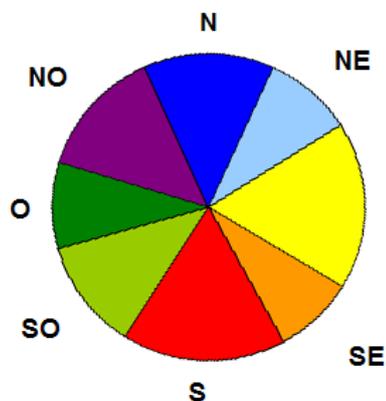


Figure 11

Les placettes sont également représentatives de la variabilité des forêts pyrénéennes en termes d'altitude et d'exposition (cf. figure 12 et 13). Cet échantillon de données paraît ainsi suffisant pour refléter la variabilité des contextes forestiers pyrénéens.

Figure 12



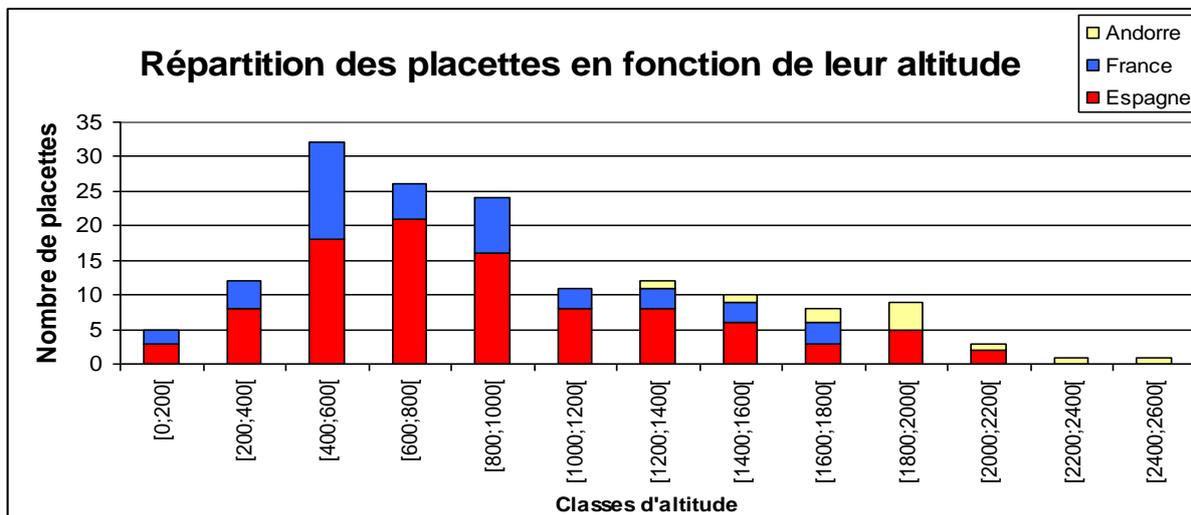


Figure 13

4.2 – Indicateur « Phénologie »

Peu de données phénologiques forestières issues de placettes permanentes sont disponibles et sont susceptibles d'intégrer l'OPCC.

Seules les 14 placettes du réseau européen de niveau II sont disponibles pour étudier l'évolution phénologique à l'échelle des Pyrénées.

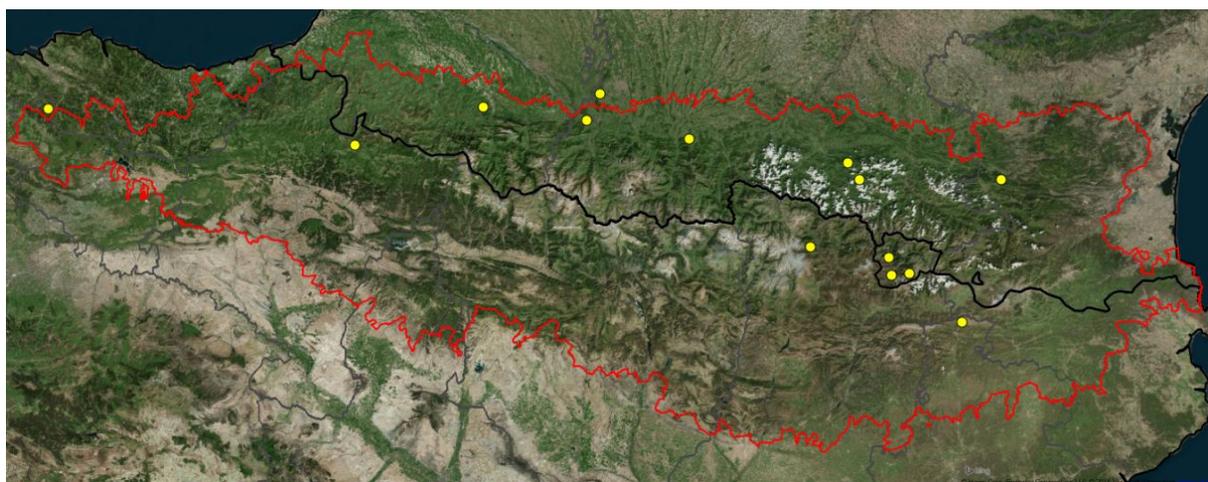


Figure 14 : Placettes du réseau européen de niveau II valorisées pour l'étude de la phénologie dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques.

Disponibles depuis le milieu des années 1990, les données y sont régulières et précises. En revanche, les placettes sont irrégulièrement réparties et ne peuvent guère être utilisées pour mettre en évidence des effets liés à l'altitude ou à l'essence. Pour cela, les données collectées par les unités de recherche de l'INRA de Bordeaux s'avèrent très intéressantes puisqu'elles intègrent le gradient altitudinal ; malheureusement les relevés ne seront pas renouvelés à l'avenir et les dernières données disponibles concernent la campagne de 2012.

Essence	Altitude (m)	Exposition	Pays
<i>Fagus sylvatica</i>	309	S	France
	755	SO	France
	986	N	France
	1100	S	Espagne
<i>Pinus sylvestris</i>	1284	SO	Andorre
	1706	SO	Andorre
	1857	S	Espagne
<i>Abies alba</i>	908	SE	France
	1251	E	France
<i>Pinus uncinata</i>	2064	NO	Espagne
	2595	N	Andorre
<i>Quercus robur</i>	438	S	France
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	379	NE	France
<i>Pinus radiata</i>	143	S	Espagne

Tableau 2 : Caractéristiques des placettes retenues pour intégrer le réseau phénologique de l’OPCC.

4.3 – Indicateur « Changement de distribution des espèces végétales »

L’étude des données floristiques existantes a mis en évidence qu’il existe, en forêt, très peu de données sur des placettes permanentes. En effet, de nombreux relevés ont pu être faits ponctuellement mais n’ont pas été suivi sur le long terme. Il est de ce fait difficile d’évaluer l’évolution de la végétation en un endroit donné.

Seul le niveau II du réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers mentionne des relevés floristiques, sur le même site, et espacés de cinq ans côté français et de 10 ans côté espagnol. Coté français, ce sont 7 placettes dont les données sont mobilisables alors que côté espagnol, 4 placettes sont disponibles.

Toutefois, à défaut de données de placettes permanentes, les changements dans la distribution des végétaux peuvent être abordés par l’intermédiaire des données des inventaires forestiers nationaux et des conservatoires botaniques. En effet, depuis de nombreuses années des données floristiques ponctuelles (dans le temps et l’espace) sont collectées à l’occasion de diverses études.

Sur la chaîne des Pyrénées, des données sont disponibles depuis les années 90, jusqu’à nos jours. Réalisés dans des conditions pédoclimatiques très différentes, de nombreux gradients (entre autres altitude, exposition, longitude, latitude...) sont couverts par l’inventaire.

La carte ci-après illustre la base de données mobilisable dans le cadre de l’Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques. Ainsi, sur notre zone d’étude, ce sont 23260 points de relevés qui peuvent être exploitées, sur les 20 dernières années (11271 en France et 11989 en Espagne). Les données concernent tant des essences arborées que des espèces arbustives ou herbacées.

Leur traitement par le biais d’analyses statistiques peut donc faire ressortir des évolutions de répartition et d’éventuelles corrélations à certains gradients.

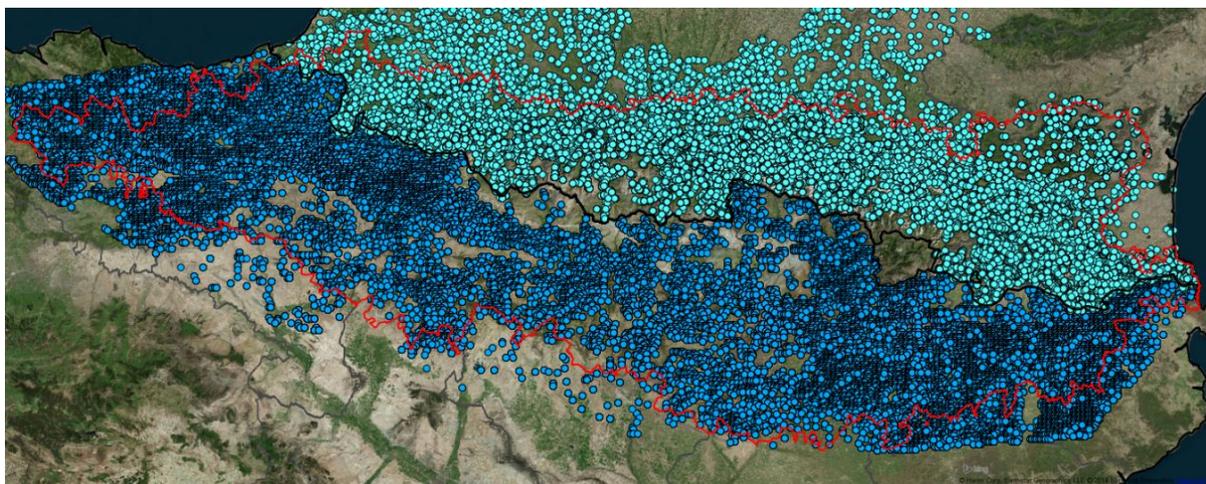


Figure 15 : Localisation des relevés floristiques mobilisables dans le cadre de l'OPCC (source : IFN France, Espagne et CBN).

4.4– Conclusions

En conclusion, l'étude de l'existant nous a permis de mettre en évidence l'existence de données tout à fait pertinentes dans le cadre de l'installation du suivi des indicateurs "écosystèmes forestiers" de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique. Toutefois, si pour certains paramètres ces données se suffisent à elles-mêmes pour caractériser, non pas de manière exhaustive mais suffisante, les changements potentiellement prévisibles, d'autres paramètres nécessitent un complément de données.

En effet, comme nous l'avons détaillé précédemment, les données sanitaires relevées pour le réseau systématique européen nous permettent d'apporter une réponse aux questions posées sur les pathologies, faiblesses ou prémices de dépérissements. L'échantillonnage sera, de plus, suffisant pour apporter une réponse que l'on pourra distinguer en fonction de critères comme l'altitude, l'exposition, l'essence, le gradient Est-Ouest... Dans le cadre de notre Observatoire, la valorisation de ces données permettra une veille sur les problèmes phytosanitaires.

En revanche pour les critères phénologiques et floristiques, les données sont tout autres et ne peuvent constituer un réseau suffisant pour atteindre les objectifs fixés. Pour la phénologie, les données disponibles sont de qualité mais l'échantillonnage est insuffisant pour pouvoir détailler la ou les réponses des écosystèmes forestiers en fonction de paramètres tels que l'essence ou encore l'altitude. Des placettes complémentaires seront donc mises en place pour compléter les données sur la chaîne des Pyrénées.

Quant à la flore, les données dont nous pouvons disposer sont très nombreuses mais, en l'état actuel de nos connaissances, il n'existe pas de relevés continus et répétitifs sur plusieurs années et sur la même placette dans les zones boisées des Pyrénées françaises. Alors, certes, certains traitements statistiques de ces données ponctuelles peuvent permettre une évaluation globale du comportement des espèces floristiques, mais un suivi sur placettes permanentes préciserait leur comportement vis-à-vis des changements climatiques, d'où l'implantation de placettes floristiques supplémentaires.

Ainsi, une analyse des données floristiques existantes permettra de définir :

- l'état zéro de la répartition des espèces végétales forestières,
- les espèces dont la répartition retranscrit le mieux les conditions climatiques actuelles.

La mise en place d'un protocole spécifique de suivi sera nécessaire, il tiendra notamment compte des espèces les plus sensibles à une évolution du climat.

Précisons que ces données floristiques devraient permettre d'évaluer l'indicateur de changement en termes de distribution des écosystèmes forestiers. Ainsi, cet indicateur sera étudié par différentes approches.

Tout d'abord, deux approches globales permettront d'étudier les éventuelles modifications de distribution au niveau de la chaîne pyrénéenne toute entière. La première repose sur l'analyse des données floristiques (tant arborées qu'arbustives ou herbacées) des données IFN, qui devrait permettre de cerner les tendances des optimums écologiques de répartition des espèces entre deux périodes différentes.

La deuxième approche, tout aussi globale, se réalisera en collaboration avec les laboratoires travaillant sur le traitement des images satellitaires issues de la télédétection. Ainsi, les cartographies d'occupation des sols et leur comparaison à différentes dates peuvent laisser présager d'identifier des modifications dans la répartition des écosystèmes.

Enfin, la dernière approche considérée pour évaluer les changements de distributions se veut plus locale et se basera sur nos relevés floristiques sur placettes permanentes afin d'étudier sur ces points précis des changements dans le cortège floristique. A noter que les espèces herbacées seront très certainement les plus intéressantes à suivre car plus réactives aux modifications des conditions stationnelles. En effet, pour les arbres, il est important de souligner que leur répartition est fortement influencée par l'homme qui, par ses activités agricoles et sylvicoles, privilégie certaines essences au détriment d'autres. En outre, ces organismes longévifs pourront se maintenir plus longtemps, alors que le renouvellement des herbacées, à durée de vie plus courte, est par la même occasion plus fréquente.

L'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques recherchera donc une plus-value en créant de nouvelles placettes afin de compléter les données en densifiant l'effort d'échantillonnage notamment phénologique et floristique.

En outre, afin d'assurer la complémentarité des données, les protocoles de relevés qui seront appliqués seront directement inspirés des protocoles déjà préexistants sur certains réseaux de suivi.

Le tableau ci-après met en regard les besoins de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques et les réseaux de placettes qui seront utilisés.

Tableau 3 : Récapitulatif des placettes de relevés intégrant l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques et sources de ces données.

BESOINS OPCC	Variables mesurées	RESEAU	Données homogènes disponibles les plus anciennes	Nombre de placettes Fr + Esp +And	Lacunes des données
Données sanitaires	Déficit foliaire	Réseau européen de niveau I et II	1997	45 + 98 + 11	-
	Mortalités de branches		2011	45 + 98 + 11	-
	Décoloration foliaire		2011	45 + 98 + 11	-

Données phénologiques	Date de débourrement	Réseau européen de niveau II	1997	7 + 4 + 3	Nombre insuffisant de placettes pour couvrir espèces et gradients voulus
	Date de jaunissement		1997	7 + 4 + 3	Nombre insuffisant de placettes pour couvrir espèces et gradients voulus
Données floristiques	Distribution des espèces	Inventaire Forestier National	1989	France : 6602 Espagne : 11989	Placettes non permanentes : évolution statistique reflet de la réalité ?
		Conservatoires Botaniques Nationaux	1781	4669	



Action "Evolutions Climatiques et Forêt de Montagne" (Axes "Forêt" et "Risques Naturels")
 Acción "Evoluciones Climáticas y Bosques de Montaña" (Ejes "Bosque y "Riesgos Naturales")

Les partenaires / Los socios :



Appui technique :
 Apoyo técnico :

Tome II : PLACETTES

COMPLEMENTAIRES



Avec le soutien / Con el apoyo



Sur les placettes nouvellement installées dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique, le protocole de suivi qui sera appliqué est détaillé ci-après.

Afin d'assurer la complémentarité des données, tant déjà existantes que nouvellement créées, il a été envisagé de s'inspirer des protocoles déjà appliqués sur les réseaux de suivi préexistants :

- **le réseau systématique de suivi des dommages forestiers** dont le suivi est assuré, en France, par le Département Santé des Forêts (DSF), en Espagne, par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement, et en Andorre par le Département de l'Environnement du Gouvernement d'Andorre
- **le réseau national de suivi des écosystèmes forestiers (RENECOFOR)**, géré en France par l'ONF et en Espagne par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement.

Outre l'analyse des réseaux déjà préexistants, la définition du protocole de relevés s'est également enrichie des diverses discussions avec les personnes potentiellement concernées par la mise en place de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique.

Ainsi plusieurs personnes ressources ont été consultées parmi lesquelles des gestionnaires de réseaux, des équipes de chercheurs, et les partenaires du projet.

Leurs remarques ont permis de cerner les différents points de vue de sorte à trouver un compromis entre les différentes options qui se présentaient à nous.

Une attention particulière a notamment été accordée aux demandes des équipes travaillant sur la télédétection afin d'assurer une complémentarité entre nos travaux, notamment en regroupant un jeu de données de terrain nécessaire à la calibration des indicateurs issus des traitements d'images satellitaires. Ces analyses seront réalisées :

- d'une part par l'École d'Ingénieurs de Purpan sur la base de données MODIS, à résolution de 250 m,
- ainsi que par le CESBIO à partir de données de SPOT 4, à résolution de 20 m.

Autre paramètre à considérer, la durée minimale du suivi du réseau de placettes devrait, dans l'idéal, être au minimum de 20 ans afin de pouvoir dégager des premières tendances quant à une possible évolution significative des écosystèmes forestiers. Cependant, ce suivi sur le long terme dépend fortement des moyens mis à disposition du réseau.

Ainsi, dans l'incertitude de la continuité du suivi de ce réseau sur le long terme, l'échantillonnage a été choisi de manière à correspondre aux besoins des organismes travaillant sur la télédétection. Ces données de terrain devraient leur permettre une calibration de leur modèle et ainsi être reproductibles tant pour les années ultérieures que pour le reste des peuplements non échantillonnés.

En outre, dans un premier temps, les relevés phénologiques ne concerneront que le débourrement car il est plus aisé à déterminer que les phases de sénescence des feuilles.

5.1 – Les relevés phénologiques

5.1.1 – Objectifs

L'objectif du protocole de relevés phénologiques vise à répondre à la question :

« Comment évolueront les phénomènes de débourrement des feuilles des quatre essences suivantes : *Quercus Petraea*, *Fagus Sylvatica*, *Abies Alba*, *Pinus Uncinata* ? ».

Ces essences ont été ciblées car elles sont représentatives de la chaîne pyrénéenne et de son gradient altitudinal.

Cette question peut également être précisée de la sorte :

- quelles seront les variations interannuelles des dates de débourrement des feuilles pour ces quatre essences ?
- pour une essence donnée, existera-t-il des différences significatives des variations interannuelles, et cela selon l'altitude ou la longitude ?
- quelle sera la corrélation entre ces évolutions et l'évolution du climat ?

5.1.2 – Echantillonnage

Une réflexion globale a été menée à l'échelle de la chaîne pyrénéenne pour l'installation des placettes. Nous rappelons que les placettes devaient être localisées au sein des zones de référence, comme spécifié dans le descriptif initial du projet.

Pour répondre aux questions précédentes, nous proposons d'adopter, au sein de chaque zone de référence, un échantillonnage stratifié par essence et selon un gradient d'altitude.

Ainsi, le hêtre et le sapin étant présents dans l'ensemble des zones de référence, une grappe de 3 placettes, positionnées selon le gradient altitudinal, leur sera accordée dans chaque zone, permettant d'étudier tant l'influence de l'altitude que de la longitude sur leur phénologie.

Cet échantillonnage en grappes a l'avantage de minimiser les déplacements et donc de gagner du temps tout en étudiant l'influence liée à l'altitude.

Les relevés relatifs au pin à crochets ont été concentrés sur la zone des Pyrénées-Orientales, du fait de leur représentativité, et ceux du chêne concernent la zone de référence de Haute-Garonne, comme le montre le tableau 4 ci-dessous.

Ainsi, sur chaque zone de référence, ce seront 2 ou 3 grappes (en fonction des essences ciblées) de 3 à 4 placettes qui seront implantées. Ce réseau se composera donc d'un ensemble de placettes permanentes, à raison de 6 à 12 points de relevés par zone de référence.

Pour l'implantation des transects altitudinaux, il sera recherché des variations minimales en termes d'exposition ; on préférera les expositions N, N-E ou N-O afin de ne pas introduire un facteur supplémentaire de variabilité.

Le positionnement précis des placettes a été guidé grâce aux données disponibles suivantes :

- l'essence ainsi que l'homogénéité du peuplement (à partir des données IFN et des orthophotographies) de sorte à n'avoir qu'une seule formation forestière,
- l'altitude et l'exposition (à partir d'un modèle numérique de terrain, au pas de 5 m),

- la grille des pixels de télédétection MODIS, à résolution de 250 m (pour que les placettes implantées ne chevauchent pas plusieurs pixels mais reflètent les données d'un pixel ; la grille de pixel SPOT à résolution de 20 m n'a pas été prise en compte car le maillage est beaucoup plus fin et que les 36 arbres échantillons reflèteront a priori bien les conditions du ou des pixels concernées).
- l'accessibilité (à partir des dessertes carrossables),
- la visite sur place pour se rendre compte de la configuration du terrain.

Tableau 4 : Echantillonnage des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC

Zone de référence française	Essence du transect	Placette	Altitude (m)	Exposition	Longitude (Lambert 93)	Latitude (Lambert 93)
Eaux-Bonnes	Sapin pectiné	1	1062	NE	423776,34	6212706,7
Eaux-Bonnes	Sapin pectiné	2	1126	NE	424046,17	6212355,34
Eaux-Bonnes	Sapin pectiné	3	1199	NO	423982,83	6212267,9
Eaux-Bonnes	Hêtre	4	842	N	422474,71	6214015,85
Eaux-Bonnes	Hêtre	5	976	N	422403,23	6213800,57
Eaux-Bonnes	Hêtre	6	1052	N	422820,62	6213619,65
Saint-Béat	Sapin pectiné	7	1255	NO	515140,25	6203307,65
Saint-Béat	Sapin pectiné	8	1462	N	517001,79	6203482,75
Saint-Béat	Sapin pectiné	9	1567	NE	517072,06	6203149,03
Saint-Béat	Hêtre	10	828	NO	513125,48	6203490,96
Saint-Béat	Hêtre	11	951	NO	513440,29	6203495,09
Saint-Béat	Hêtre	12	1088	NO	513760,01	6203380,39
Saint-Béat	Hêtre	13	1165	NO	513519,94	6202999,73
Saint-Béat	Chêne	14	1012	SE	510552,1	6201510,55
Saint-Béat	Chêne	15	1089	E	510446,68	6201734,15
Saint-Béat	Chêne	16	1065	E	510471,1	6202122,8
Ustou	Hêtre	17	1158	NO	555237,93	6191756,13
Ustou	Hêtre	18	1270	NO	554956,48	6191338,28
Ustou	Hêtre	19	1365	N	554437,92	6191367,29
Ustou	Hêtre	20	1429	N	554745,8	6190977,04
Ustou	Sapin pectiné	21	1284	NE	560437,56	6183974,77
Ustou	Sapin pectiné	22	1320	N	560399,76	6183910,06
Py	Hêtre	23	1688	E (confiné)	647407,23	6150913,66
Py	Hêtre	24	1790	E (confiné)	647218,46	6150913,52
Py	Sapin pectiné	25	1699	N	646565,76	6151622,23
Py	Sapin pectiné	26	1797	N	646986,07	6151251,41
Py	Pin à crochets	27	1868	N	644914,82	6153242,55
Py	Pin à crochets	28	1943	N	645149,1	6153073,16
Py	Pin à crochets	29	2007	N	645888,39	6150759,36
Py	Pin à crochets	30	2081	N	645891,62	6150557,2
Py	Pin à crochets	31	2151	N	645887,54	6150364,96
Py	Pin à crochets	32	2221	N	645885,93	6150172,69

Zone de référence espagnole	Essence du transect	Placette	Altitude (m)	Exposition	Longitude (UTM 31N)	Latitude (UTM 31N)
Escos	Pin sylvestre	33	1036	N	339256	4692792
Escos	Pin sylvestre	34	1195	N	339624	4692328
Escos	Pin sylvestre	35	1395	NE	338058	4692247
Opakua	Hêtre	36	866	NO	63565	4755186
Opakua	Hêtre	37	943	NO	63340	4754136
Opakua	Hêtre	38	1051	NE	63576	4753781

5.1.3 – Protocole

PROTOCOLE DE RELEVES PHENOLOGIQUES DE L'OPCC



Rédaction : ROUYER Emmanuel (CRPF de Midi-Pyrénées)

Version 2 – Mars 2014



Matériel nécessaire

Cartes de localisation du dispositif : carte type régionale, précisée par un zoom sur fond Scan 25 et l'identification des arbres sur orthophotographie.

GPS : pour se diriger vers les placettes et relever la position de chaque arbre.

Mètre ruban : pour mesurer la circonférence des arbres à 1,3 m de hauteur (toujours en amont de l'arbre). Arrondir au centimètre près.

Peinture (pensez à prendre des gicleurs de rechange) : pour numéroter les arbres et cercler l'arbre central. Numéroter les arbres vers le centre ou l'amont de sorte à faciliter l'observation des houppiers.

Vertex (penser à prendre des piles de rechange) : pour mesurer la distance de chaque arbre, en mètres, par rapport à l'arbre central (prendre la distance réelle et non pas la distance orthogonale).

Boussole : pour prendre l'azimut, en grades, de chacun des 36 arbres à partir de l'arbre central.

Jumelle (grossissement minimal X 7) : pour l'observation des bourgeons dans le houppier des arbres.

Guide photographique pour le débourrement : pour la détermination des stades de débourrement en fonction des espèces.

Feuille de relevés : pour la consignation des mesures.

Papier pluie et crayons à papier : en cas de mauvais temps, ce qui peut arriver en montagne...

Installation des placettes

Choisir des peuplements adultes homogènes quant à la composition spécifique recherchée (sapin ou hêtre ou chêne...). Pour l'installation veiller à ce qu'il y ait suffisamment d'arbres (36) et choisir un arbre plus ou moins central.

Celui-ci sera ceinturé de peinture et constituera le centre de la placette à partir duquel les distances et les azimuts seront mesurés. Cet arbre sera numéroté 1. Choisir ensuite les autres arbres uniquement parmi les dominants ou codominants et les numéroter de 2 à 36 (vers le centre ou en amont pour faciliter leur identification lors des observations) en prenant pour chacun d'entre eux sa circonférence à 1,3 m de hauteur (toujours en amont de l'arbre), sa distance au centre et son azimut à partir du centre. Une position GPS pourra aussi facultativement être prise pour chaque arbre. La placette devra rester globalement plus ou moins circulaire.

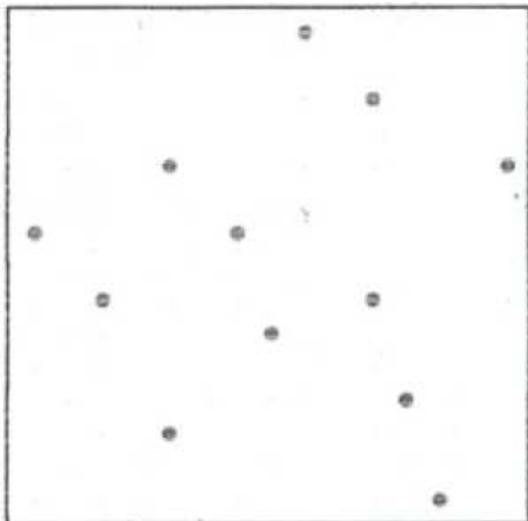
Réalisation des relevés de phénologie

Chaque semaine, chacun des arbres verra son houppier attentivement scruté aux jumelles afin de déterminer le stade de développement des bourgeons. Pour les observations, il faudra veiller à se positionner de manière à bien voir le houppier. Bien souvent en montagne, la position amont est la meilleure solution tant en terme de visibilité que pour vos cervicales...

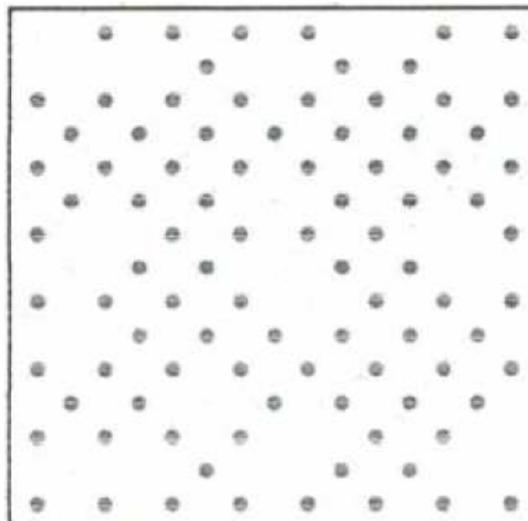
Bien penser à regarder les bourgeons des extrémités des branches et du haut du houppier souvent plus avancés d'un point de vue phénologique.

Il conviendra, dans la feuille de relevés, de noter chaque semaine le stade phénologique des bourgeons ainsi que le pourcentage de bourgeons (10 %, 50 % ou 90 %) ayant débourré sur l'ensemble du houppier. Se référer au guide photographique pour identifier le stade phénologique. Un bourgeon a débourré lorsqu'il a atteint le stade cerclé de rouge (voir guide photographique ci-dessous) ou les stades supérieurs.

Pour rappel, ci-dessous figurent des schémas destinés à l'identification des pourcentages.



10 %



90 %

Dans les situations pour lesquelles les bourgeons n'auraient pas encore débourrés, il peut être utile de renseigner le stade phénologique des bourgeons les plus avancés de sorte à savoir quels arbres surveiller en priorité lors des passages ultérieurs.

Feuille de relevé

La feuille de relevé utilisée dans le cadre de ce suivi phénologique est la suivante.

Relevés phénologiques de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques



Zone de référence *Nom* Année *AAAA* Placette *Nom*
 Topo/Confi *Situation* Exposition *_* Altitude *_*
 Coordonnées Lambert II : X Y

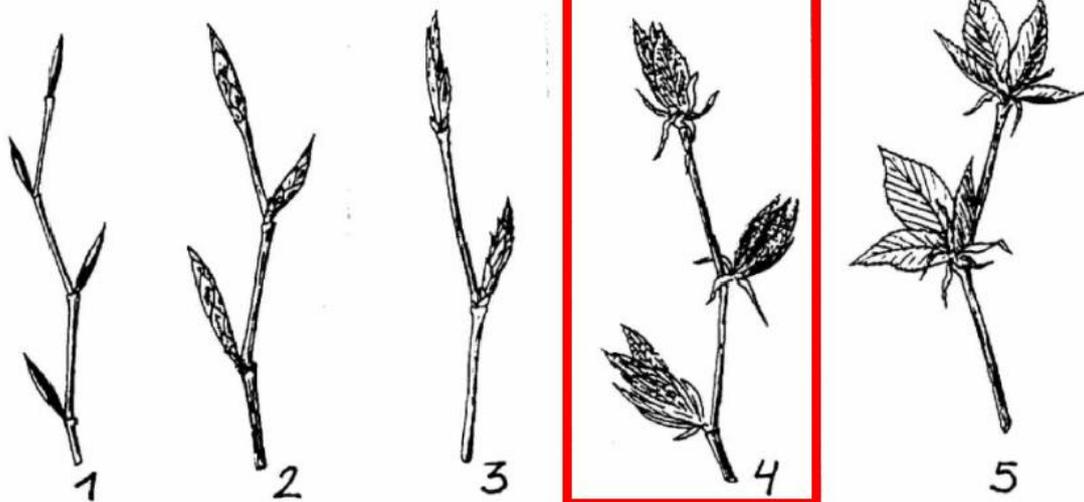
Inscrire ci-dessous le nom des observateurs						
Observateur 1	Observateur 1	Observateur 1	Observateur 1	Observateur 1	Observateur 1	Observateur 1
Observateur 2	Observateur 2	Observateur 2	Observateur 2	Observateur 2	Observateur 2	Observateur 2

Id_Arbre	Azimut (gr)	Distance au centre de la placette	Essence	Circonférence (en cm)	Stade de débourrement des bourgeons du houppier									
					Semaine 14	Semaine 15	Semaine 16	Semaine 17	Semaine 18	Semaine 19	Semaine 20			
					<i>Date exacte</i>	<i>Date exacte</i>	<i>Date exacte</i>	<i>Date exacte</i>	<i>Date exacte</i>	<i>Date exacte</i>	<i>Date exacte</i>			
1 (Arbre central)														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														

Guide photographique pour détermination du stade de débourrement

Adapté des protocoles existants (Vitasse, 2005 ; RENECOFOR, 2009)

Fagus sylvatica - Hêtre



Bourgeon fermé



Bourgeon allongé et gonflé.



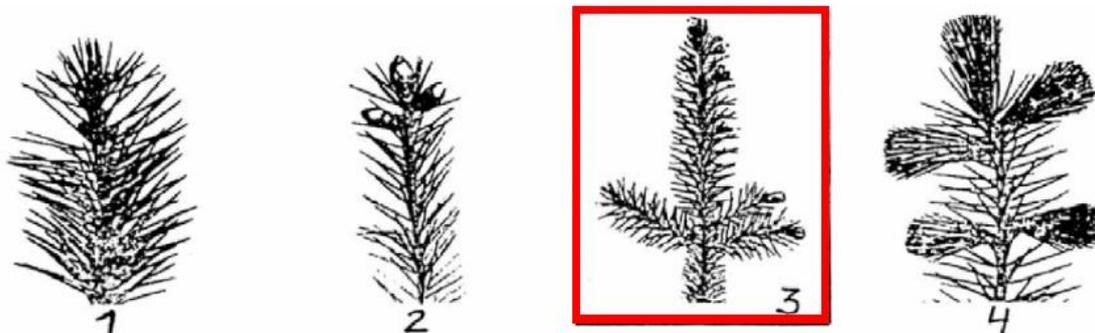
Bourgeon explosé



Feuilles sorties et épanouies



Abies alba – Sapin pectiné



Bourgeon fermé



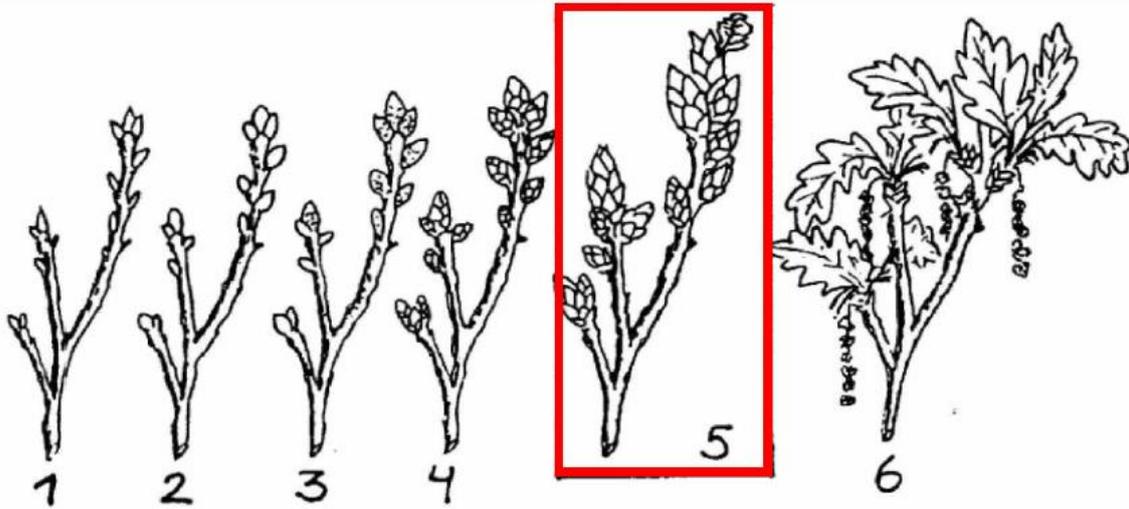
Bourgeons verts



Feuilles sorties



Quercus sp. - Chênes



Bourgeon fermé.



Elongation du bourgeon.



Ouverture du
bourgeon.



Début de l'expansion des
feuilles.



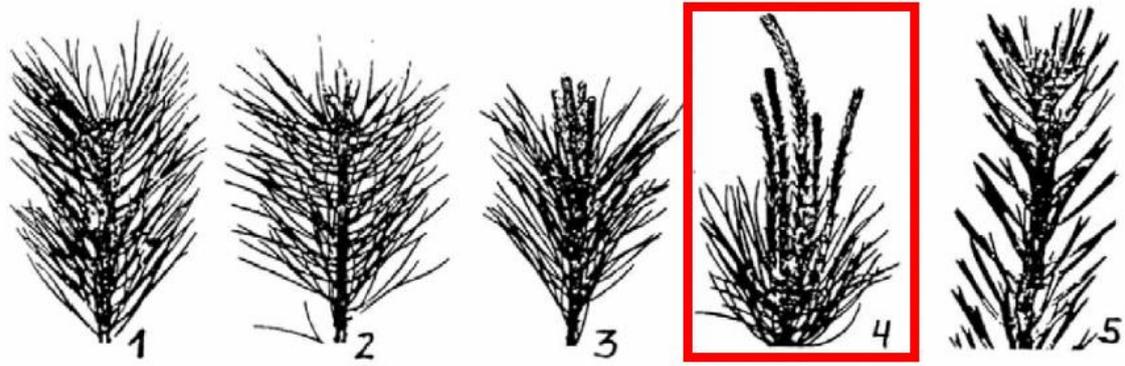
Au moins une feuille est
sortie du bourgeon.



Les entre-nœuds ont
commencé leur élongation.



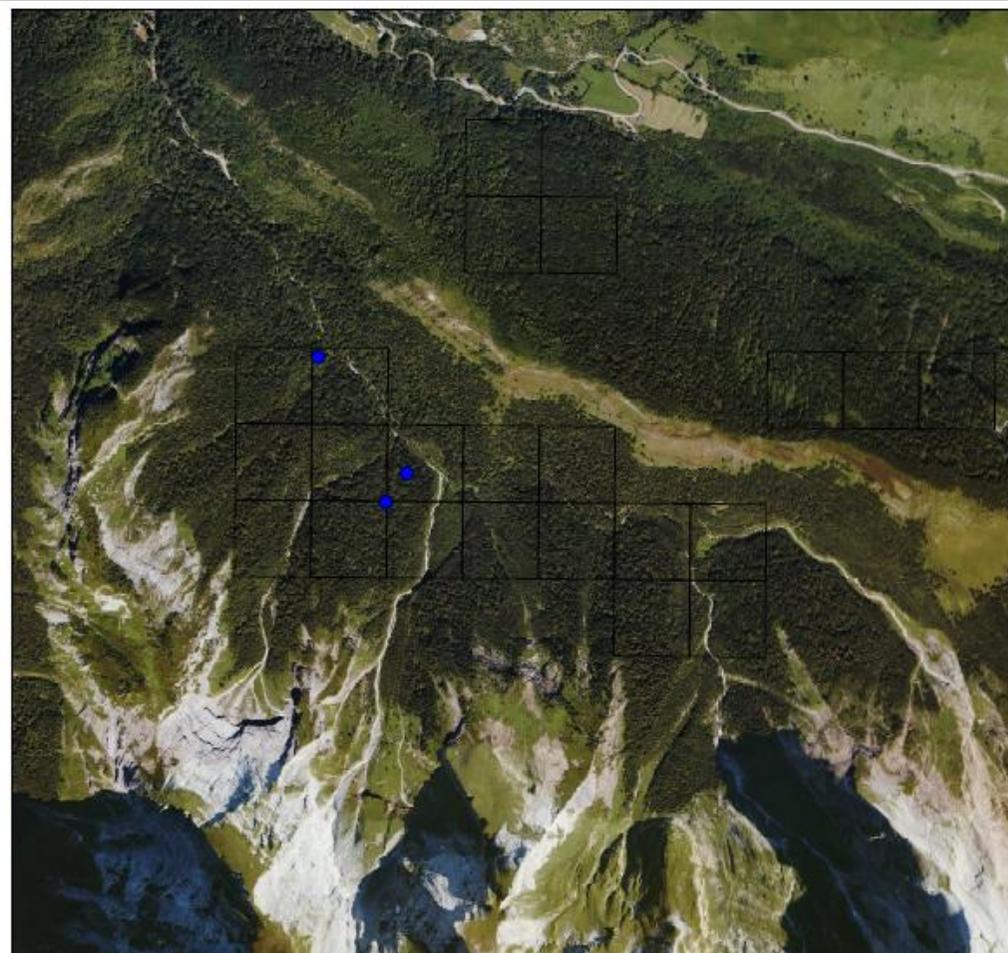
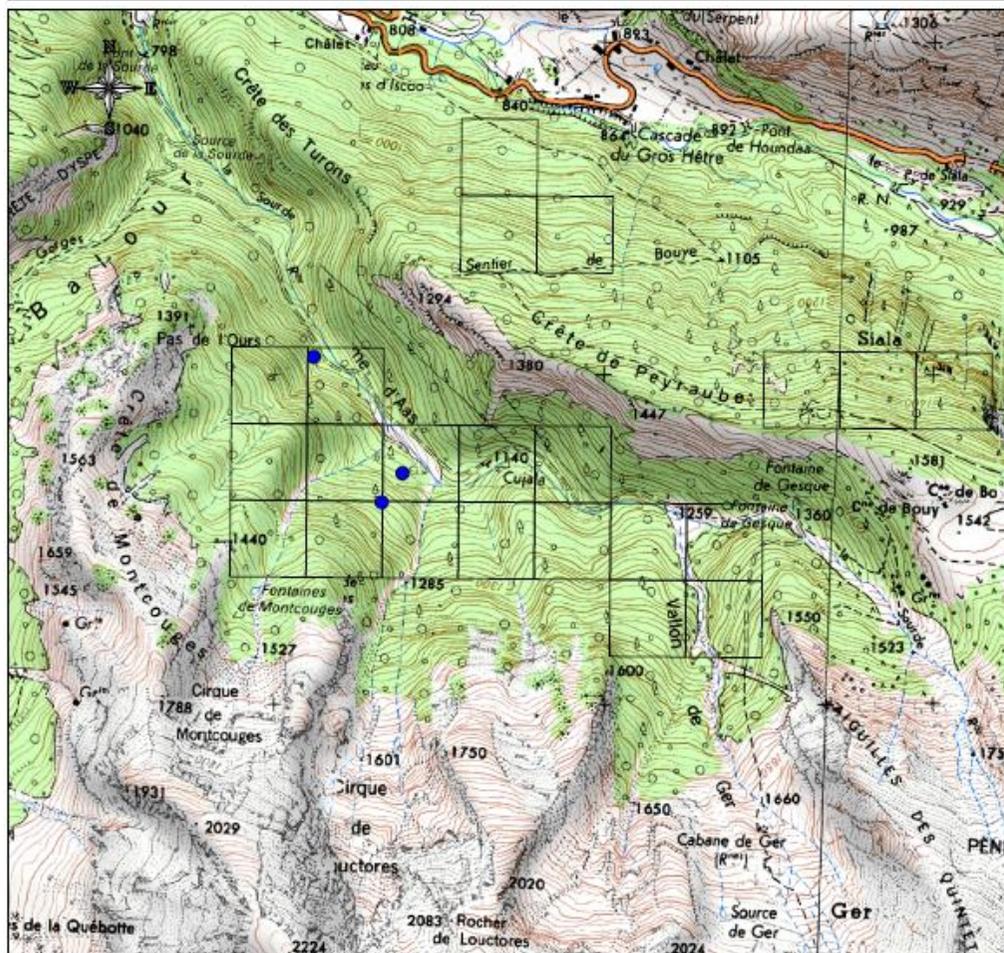
Pinus uncinata & *Pinus sylvestris* – Pin à crochets et Pin sylvestre



5.1.4 – Localisation des placettes

Les cartes présentées ci-après répertorient l'ensemble des placettes phénologiques installées dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique.

Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site des Eaux-Bonnes



Légende

Zones de référence

- Grille des pixels MODIS
-

Placettes phénologiques

- Chêne (3)
- Hêtre (11)
- Sapin (8)

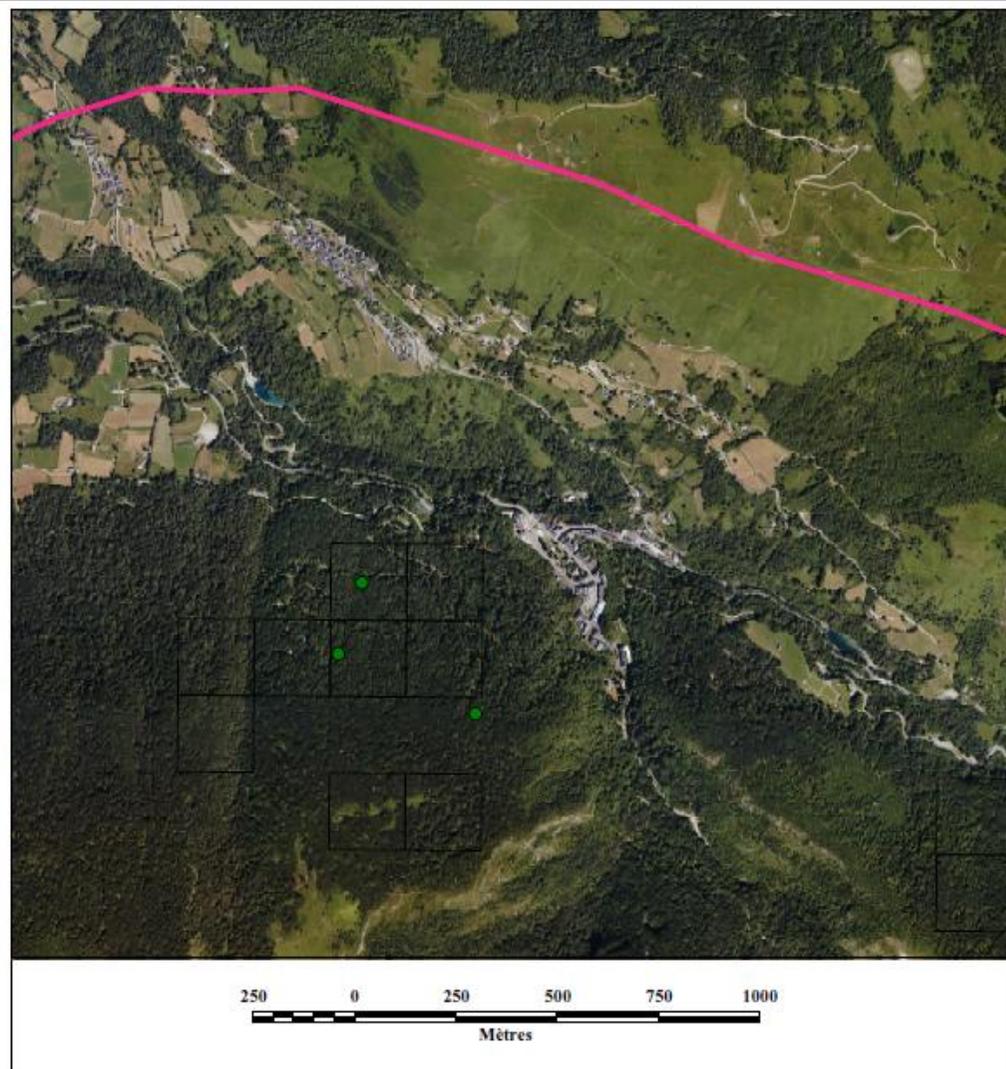
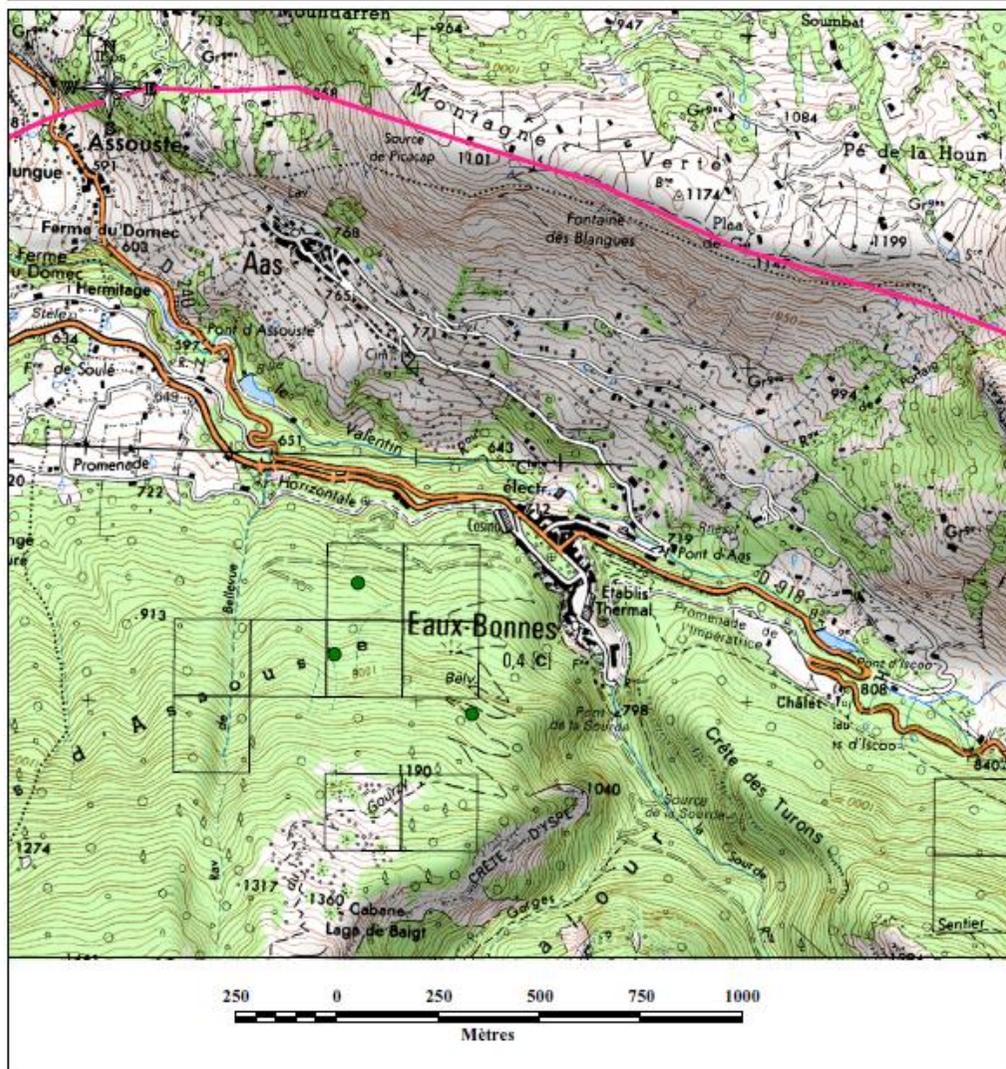
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données EI Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site des Eaux-Bonnes



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes phénologiques

-  Chêne (3)
-  Hêtre (11)
-  Sapin (8)

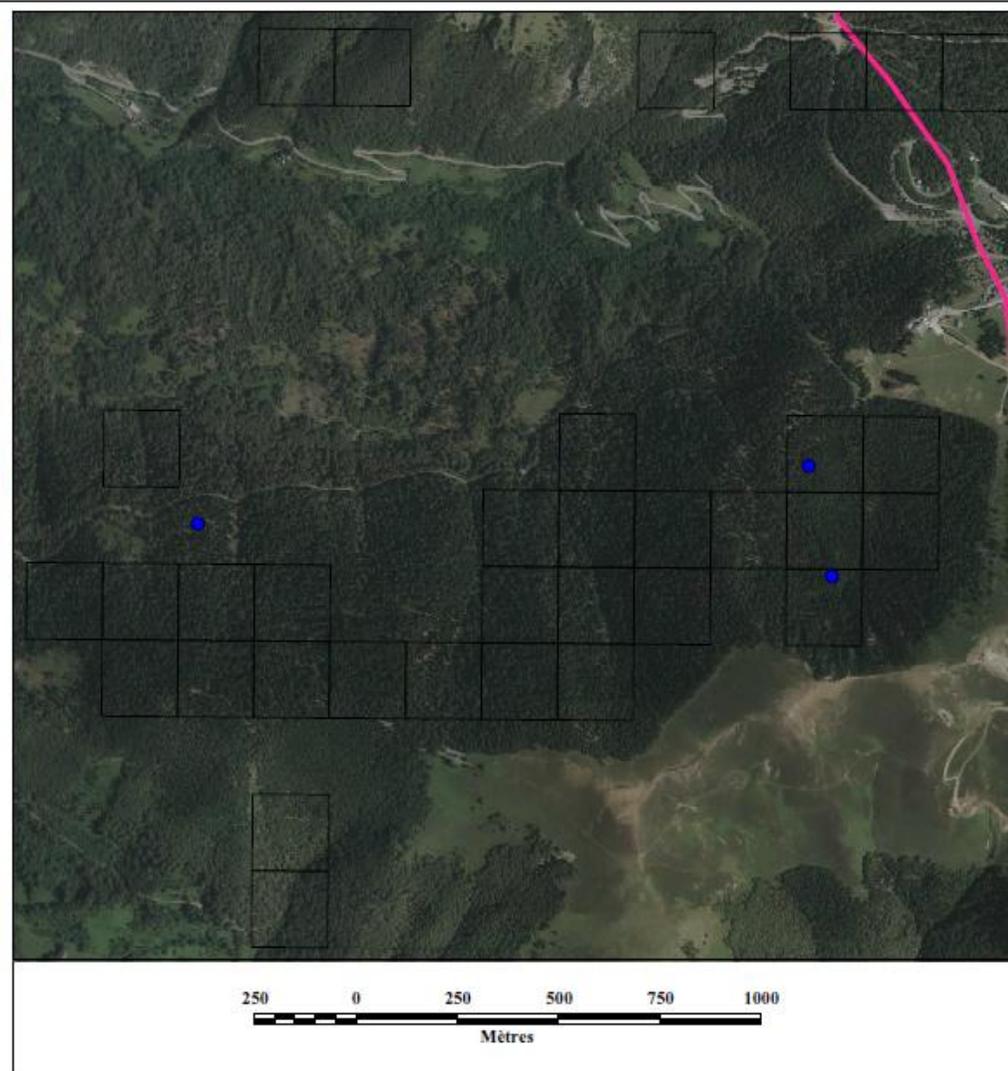
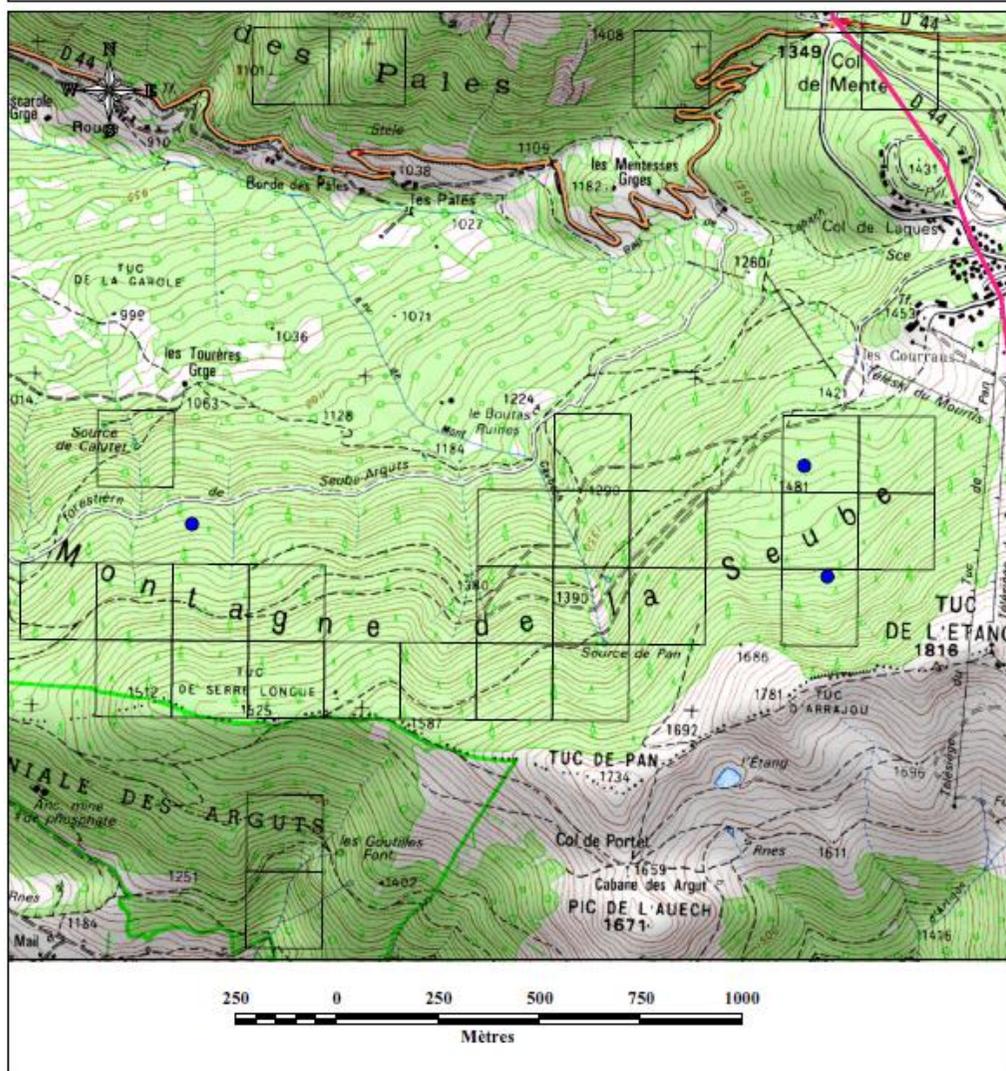
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site de Saint-Béat



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes phénologiques

-  Chêne (3)
-  Hêtre (11)
-  Sapin (8)

Sources :

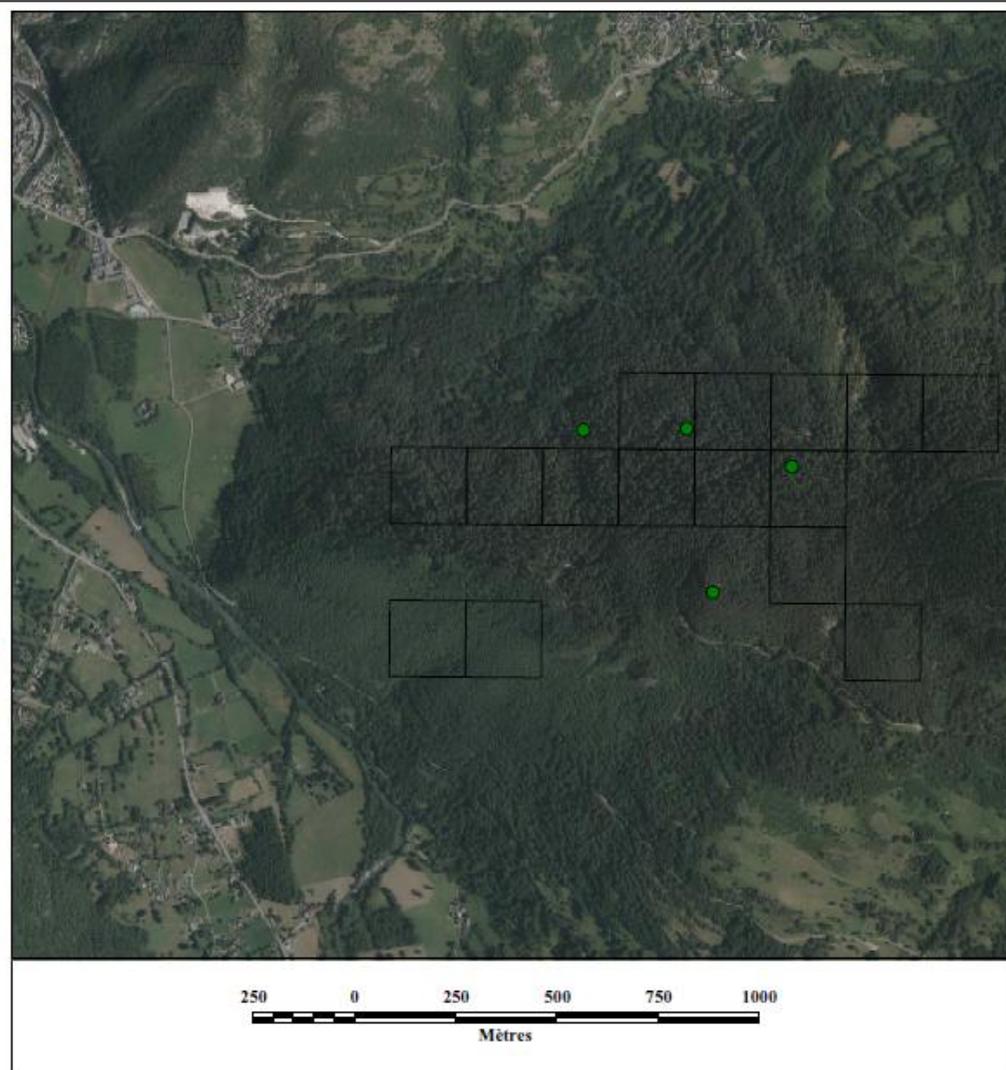
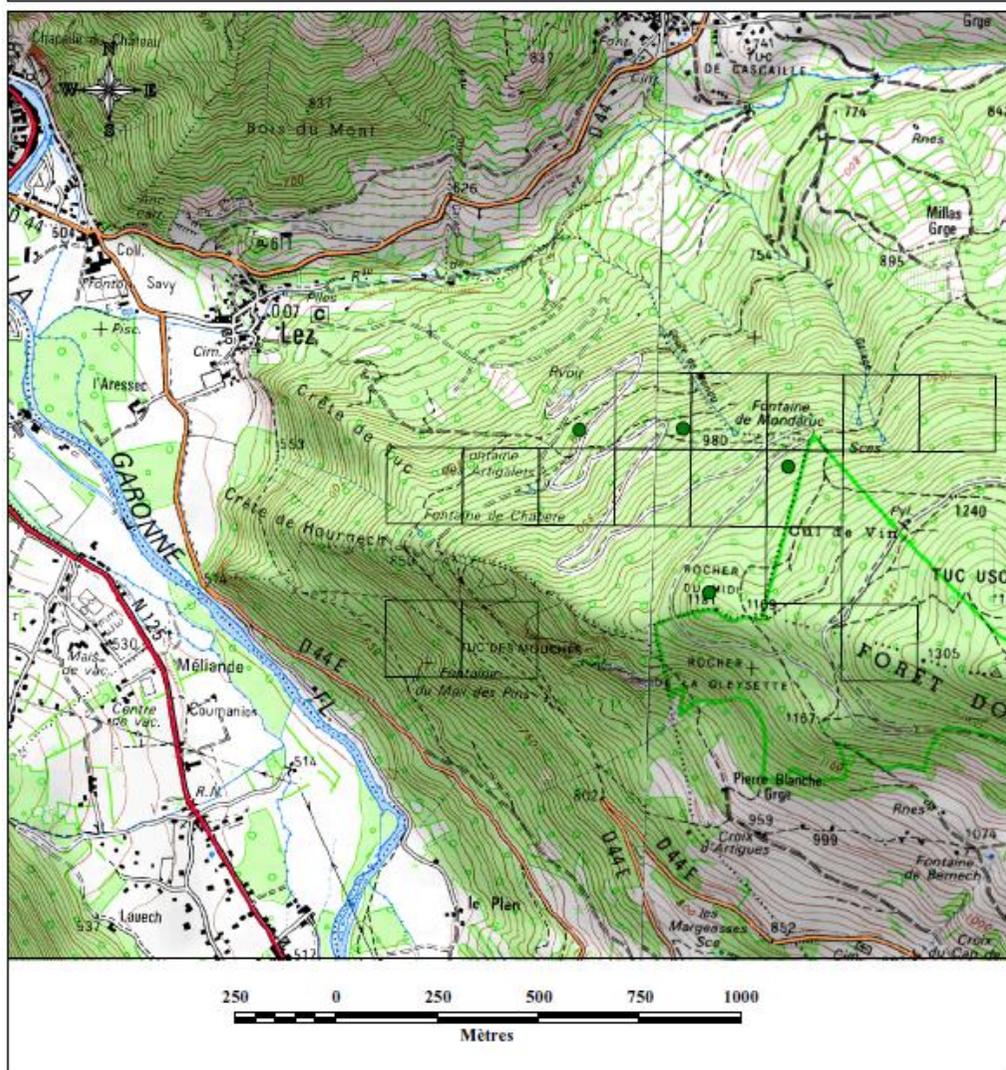
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site de Saint-Béat



Légende

Zones de référence

- Grille des pixels MODIS
-

Placettes phénologiques

- Chêne (3)
- Hêtre (11)
- Sapin (8)

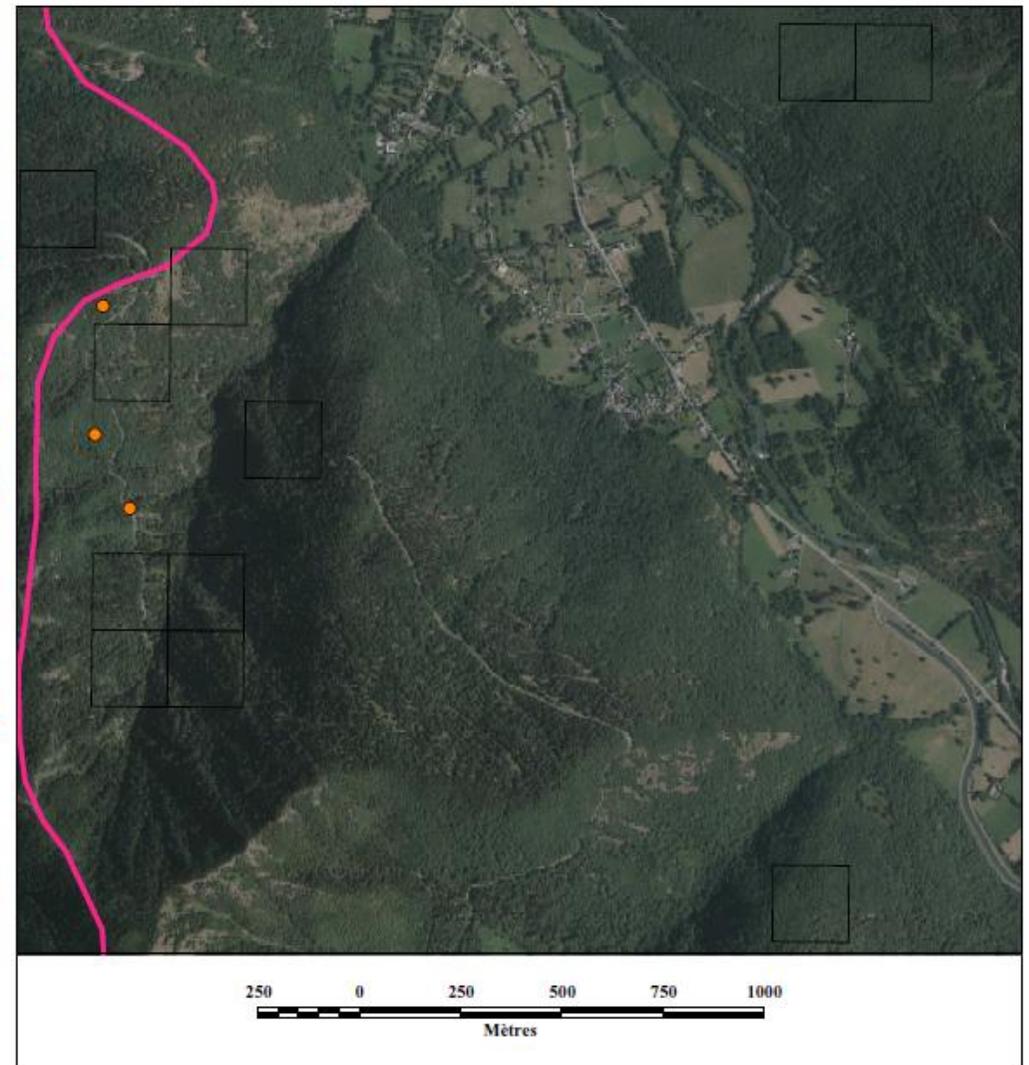
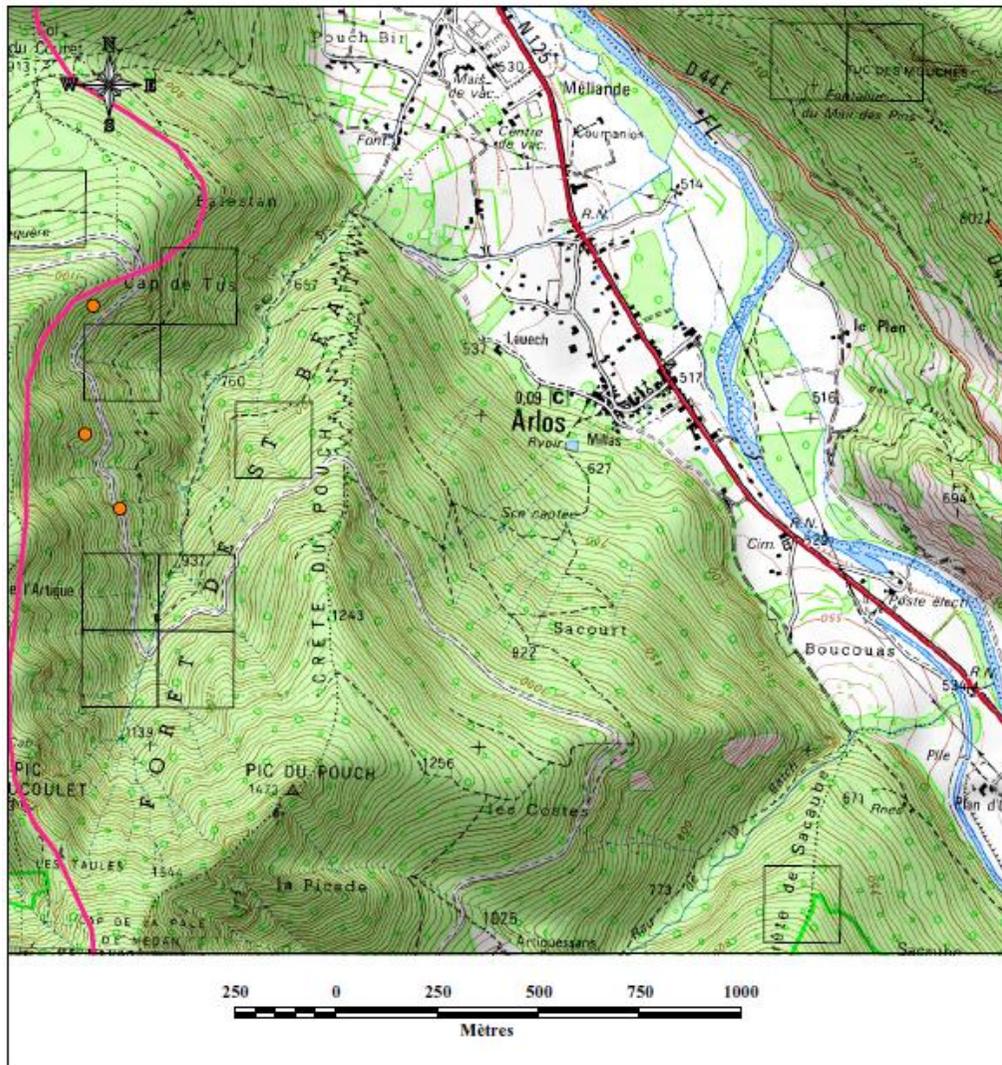
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site de Saint-Béat



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes phénologiques

-  Chêne (3)
-  Hêtre (11)
-  Sapin (8)

Sources :

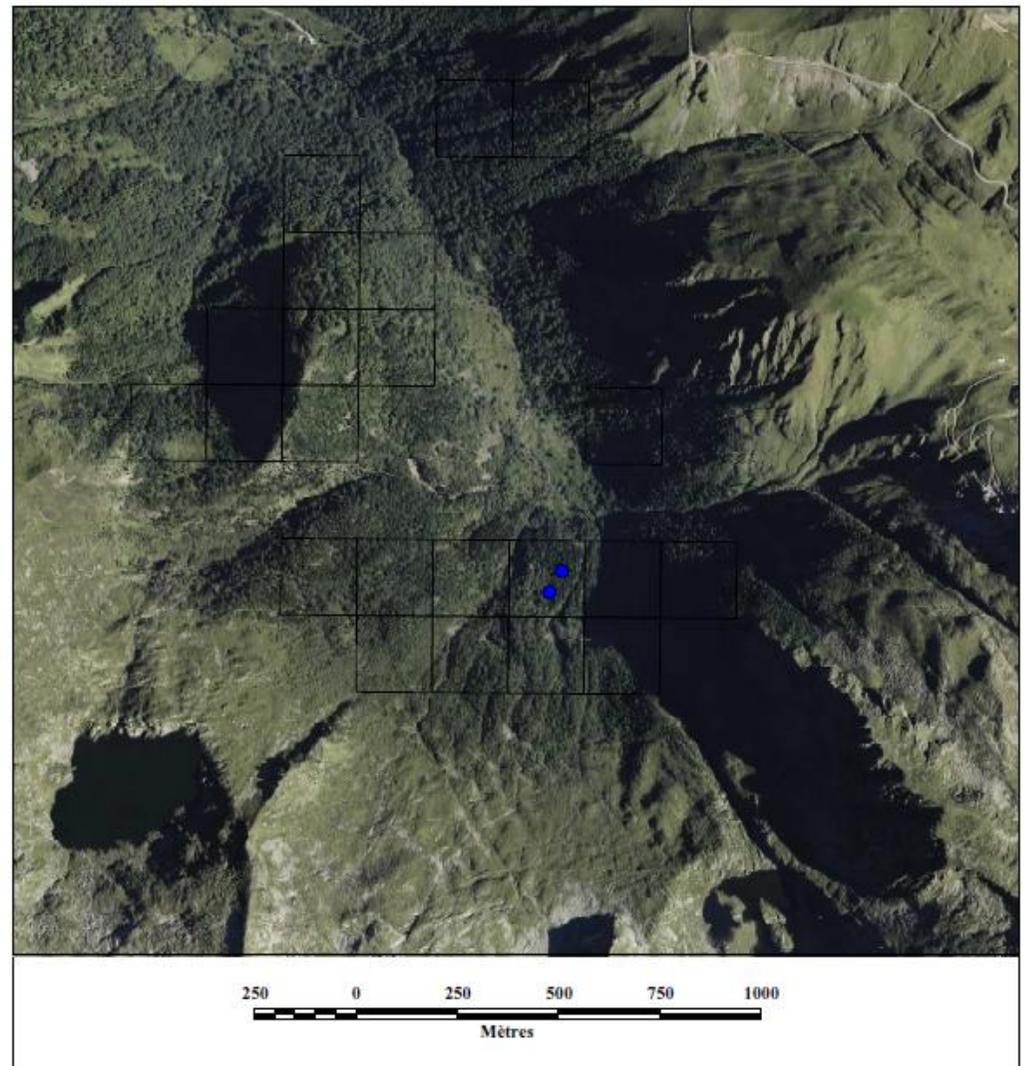
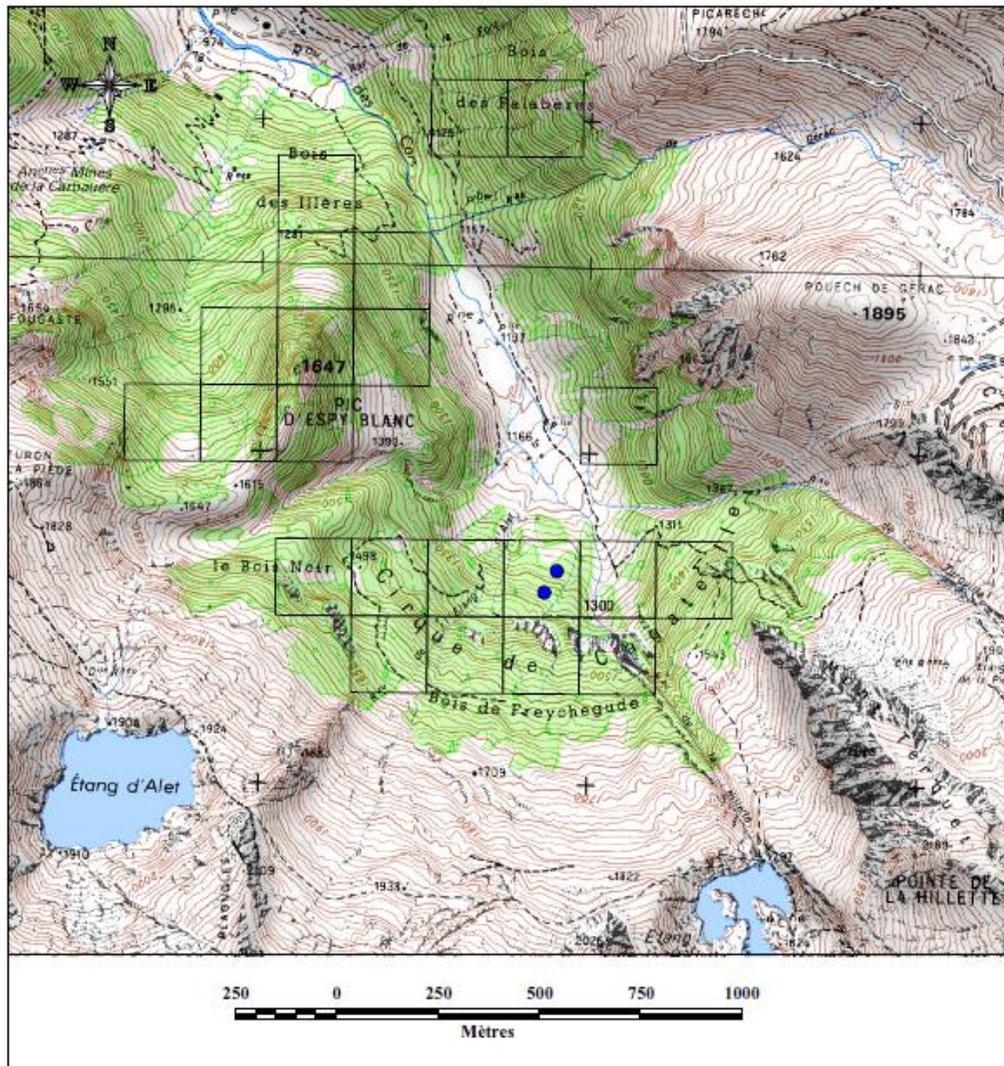
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site d'Ustou



Légende

Zones de référence

-  Zones de référence
-  Grille des pixels MODIS

Placettes phénologiques

-  Chêne (3)
-  Hêtre (11)
-  Sapin (8)

Sources :

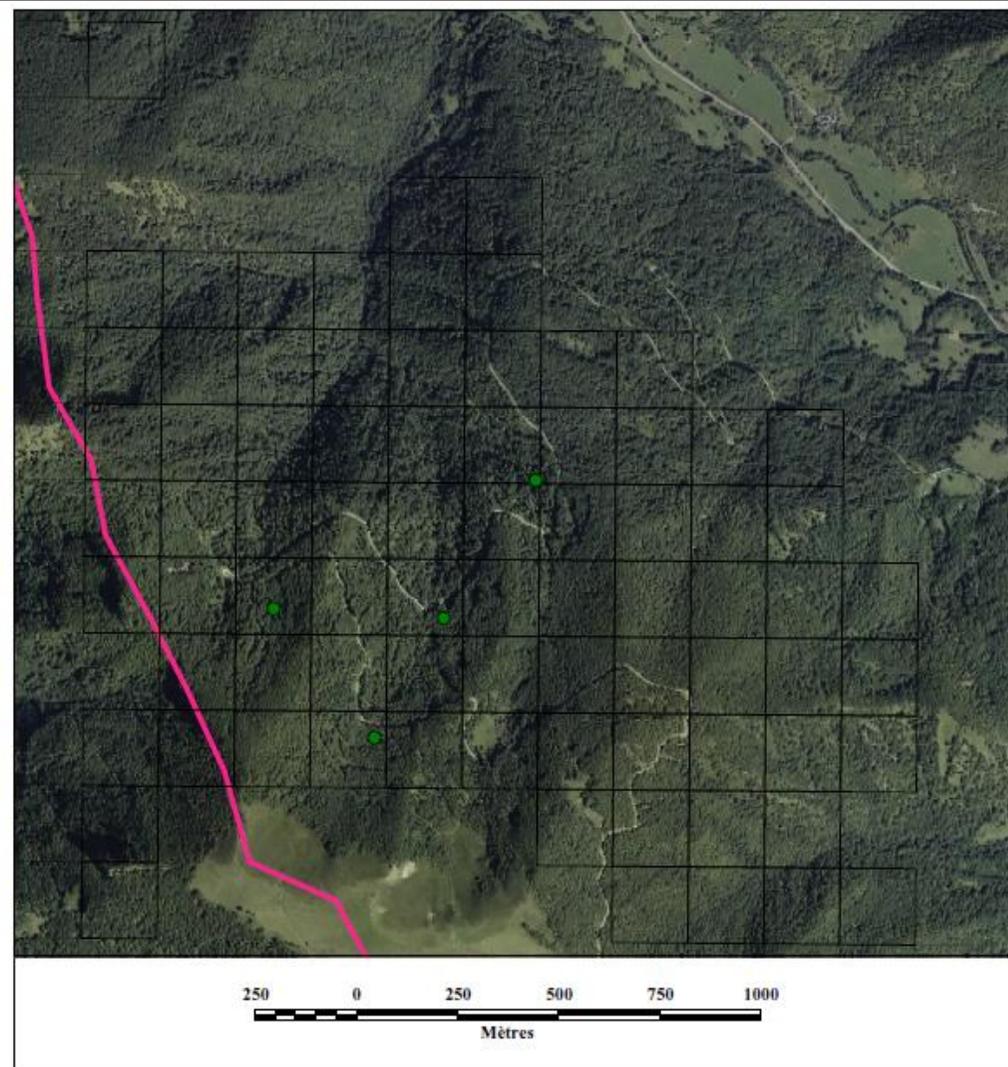
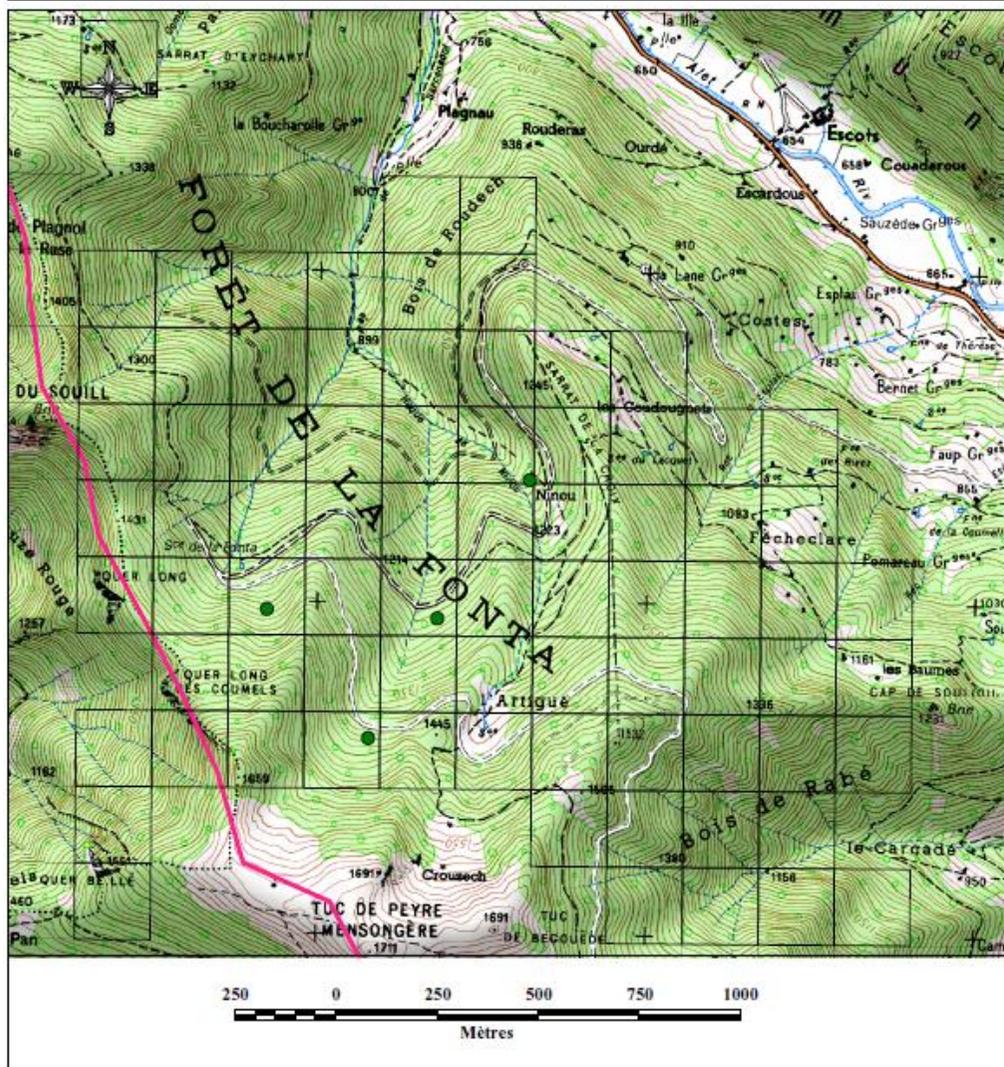
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site d'Ustou



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes phénologiques

-  Chêne (3)
-  Hêtre (11)
-  Sapin (8)

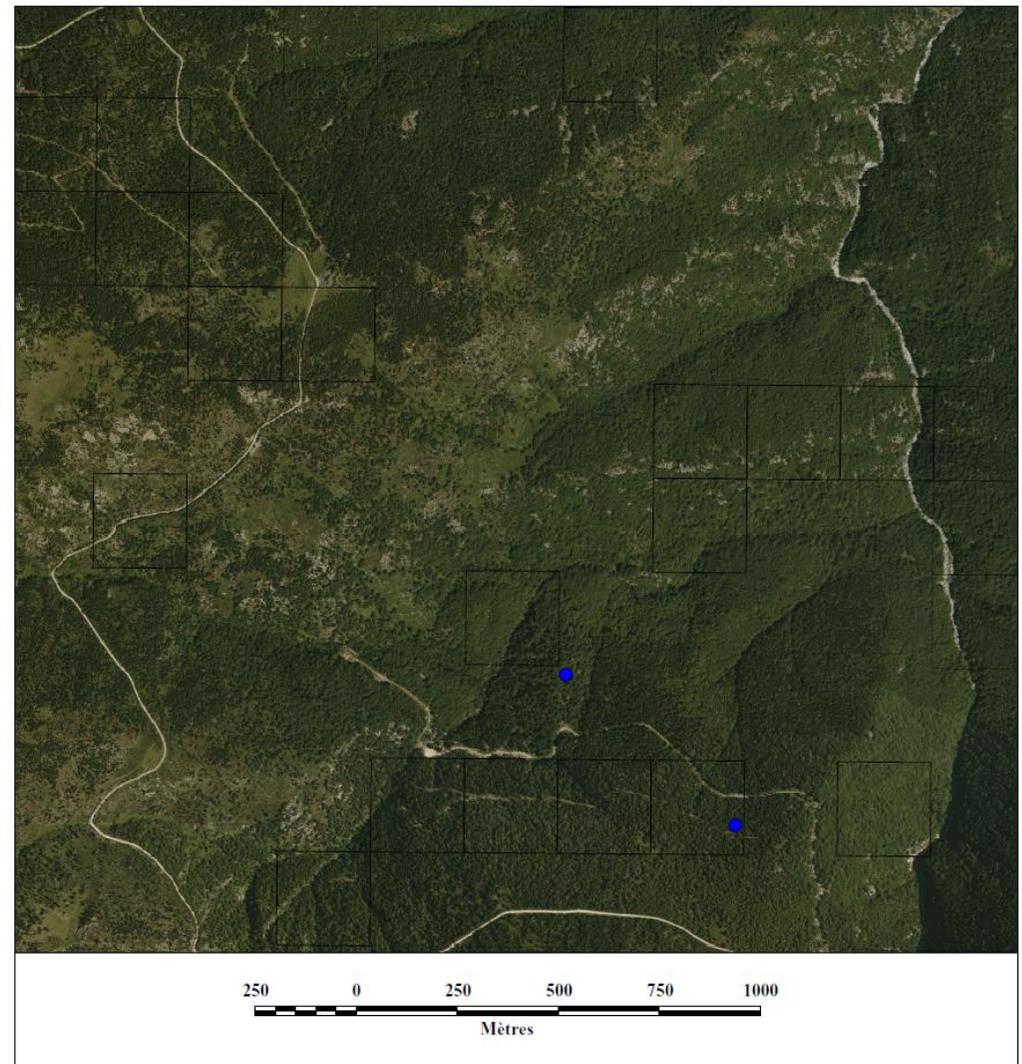
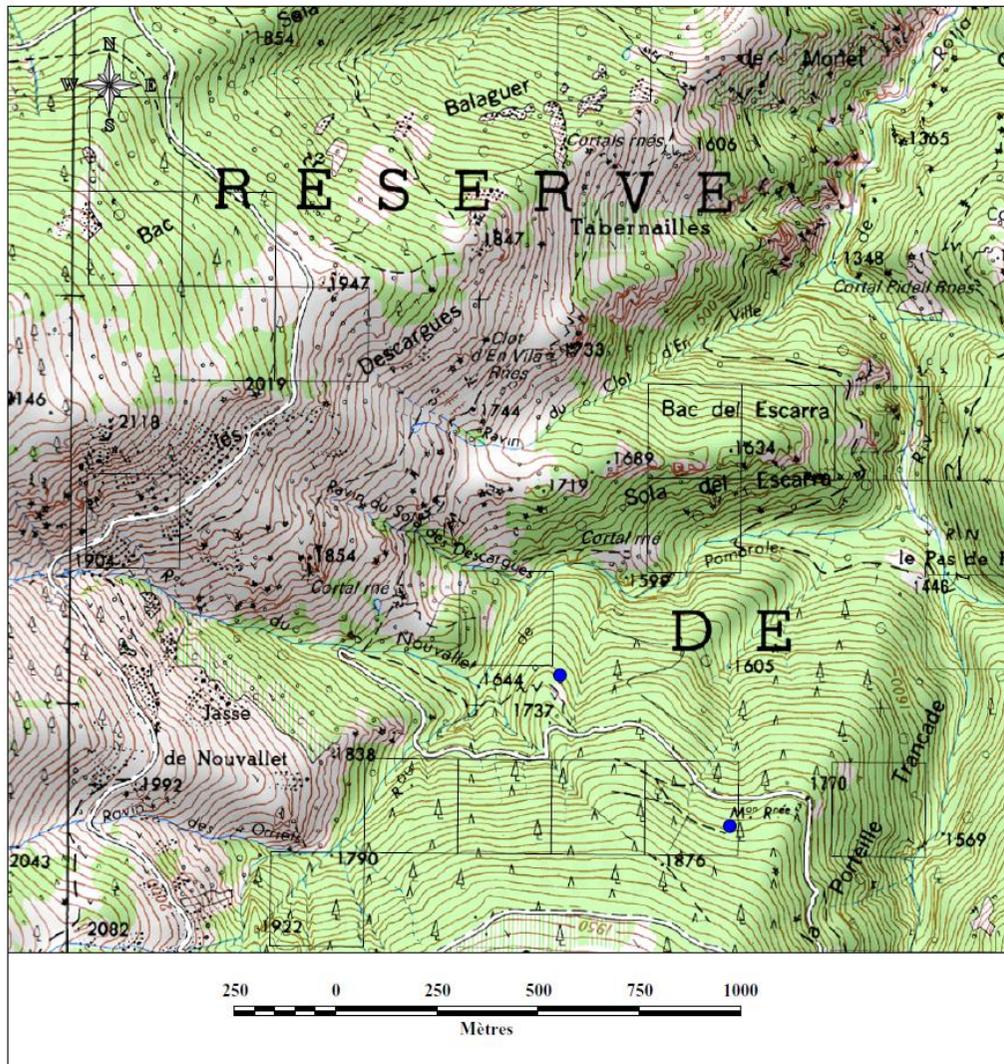
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site de Py



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes de relevés phénologiques

-  Placettes par Essence
-  Chêne (3)
-  Hêtre (13)
-  Pin à crochets (6)
-  Sapin (11)

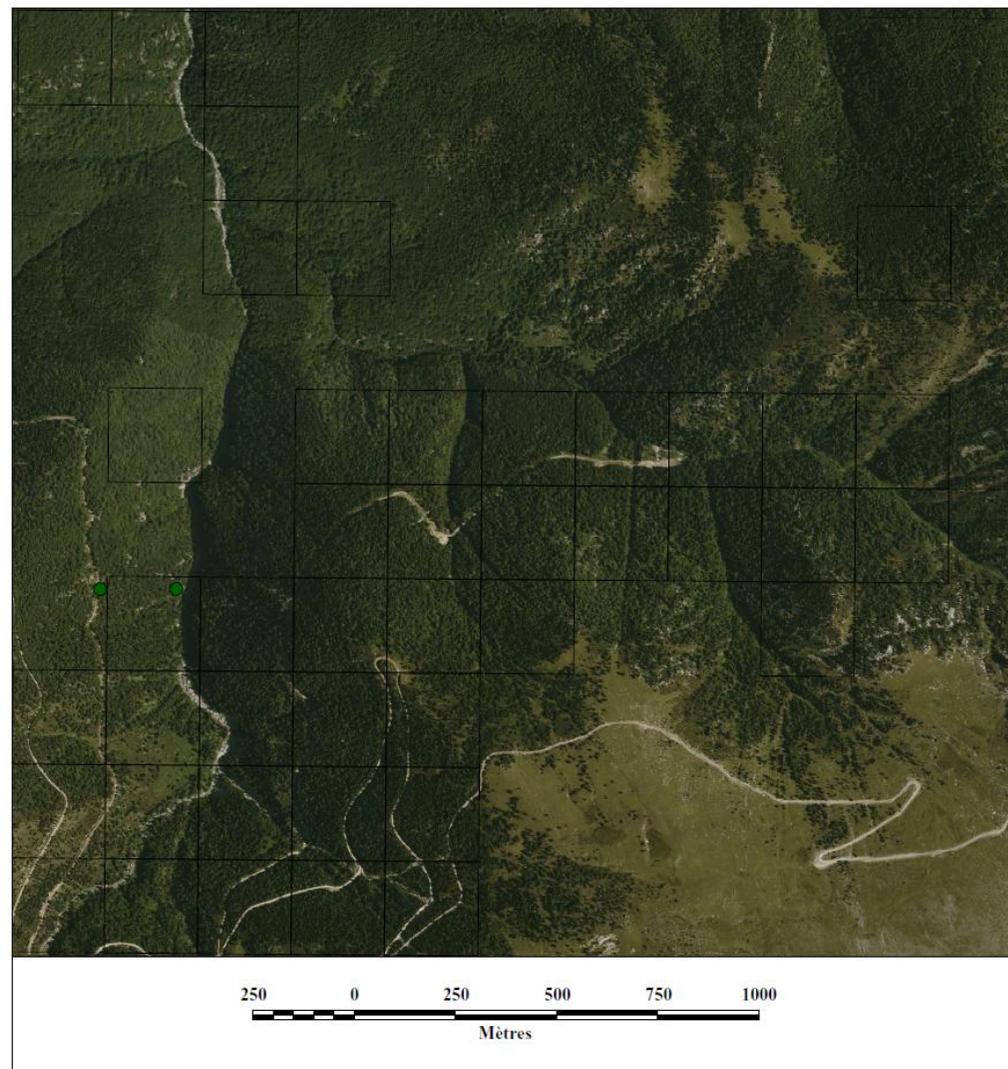
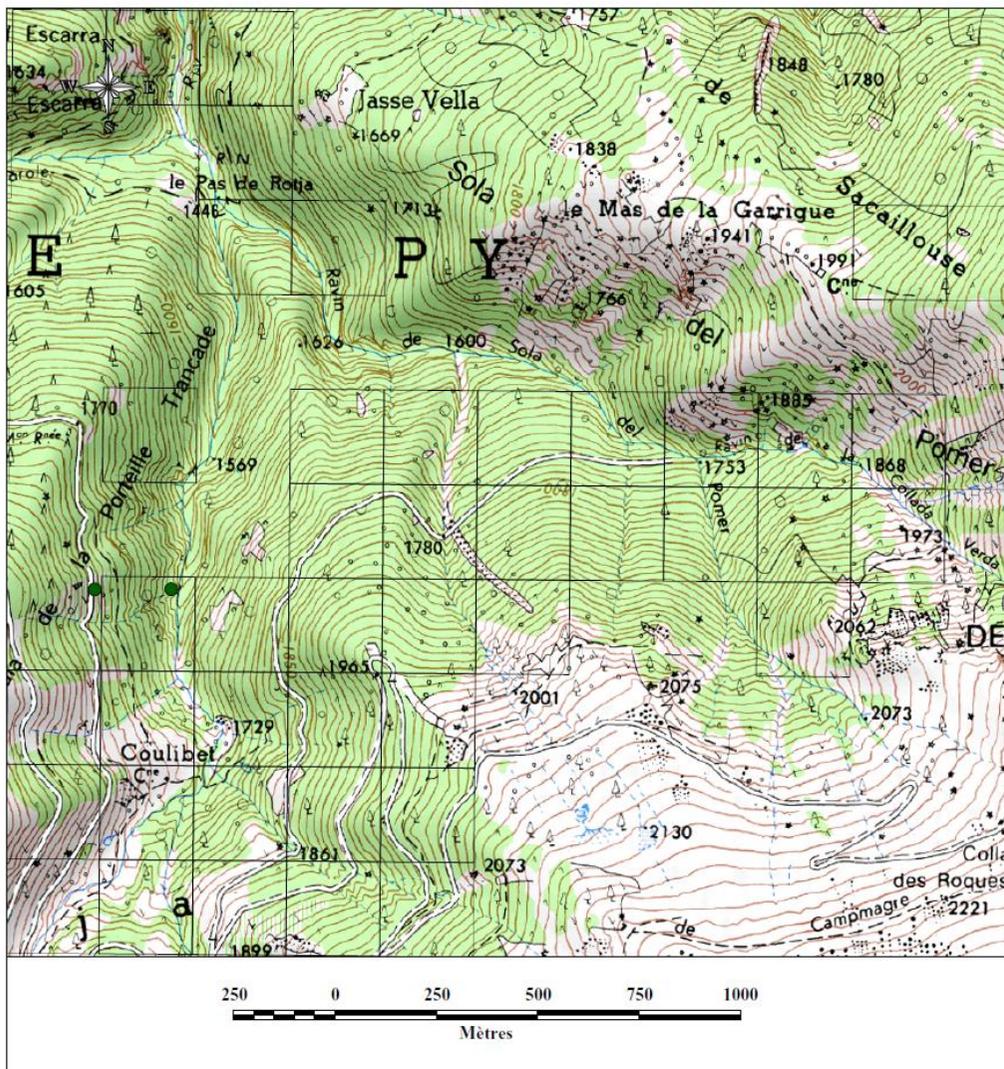
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
15 février 2013

MARTY Pauline
CRPF de Languedoc-Roussillon.



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site de Py



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes de relevés phénologiques

-  Placettes par Essence
-  Chêne (3)
-  Hêtre (13)
-  Pin à crochets (6)
-  Sapin (11)

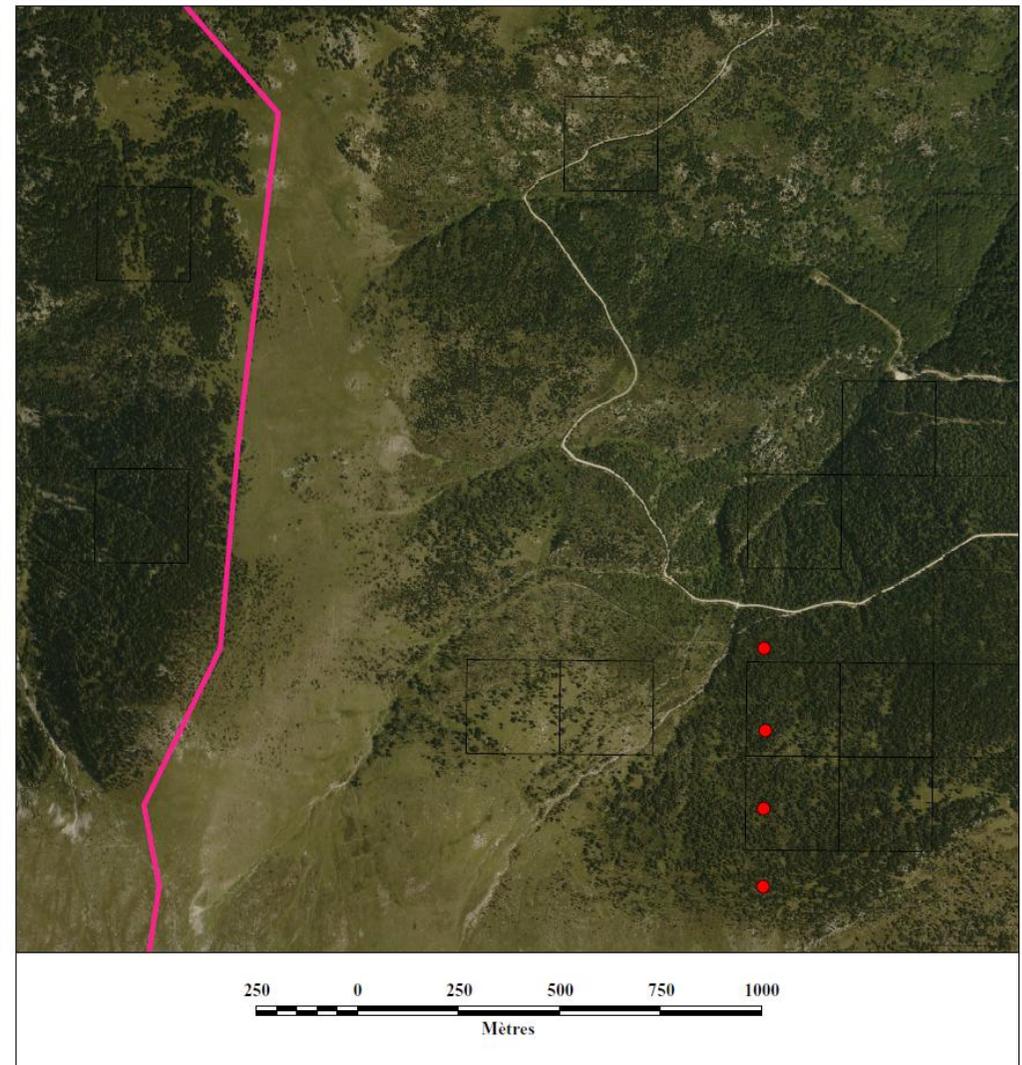
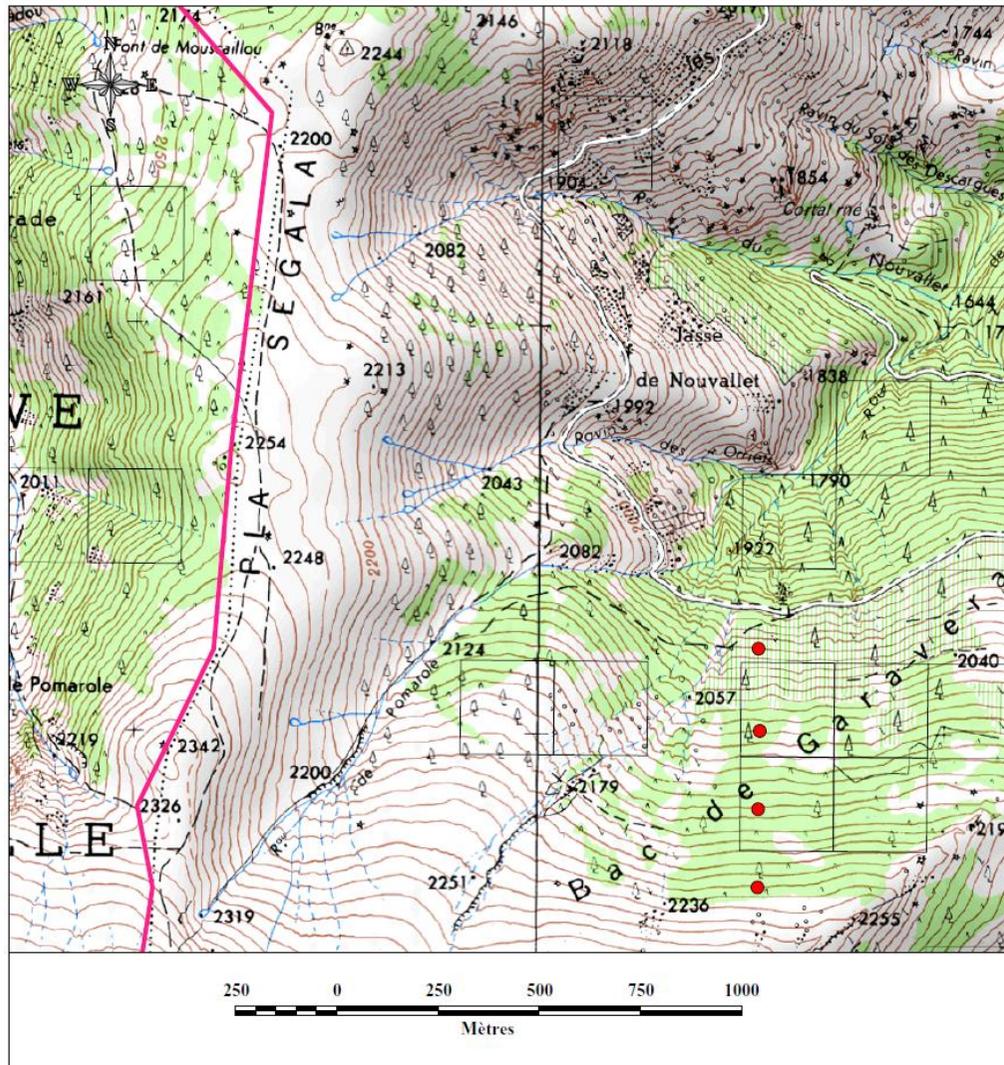
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
15 février 2013

MARTY Pauline
CRPF de Languedoc-Roussillon.



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site de Py



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes de relevés phénologiques

Placettes par Essence

- | | | |
|---|----------------|------|
|  | Chêne | (3) |
|  | Hêtre | (13) |
|  | Pin à crochets | (6) |
|  | Sapin | (11) |

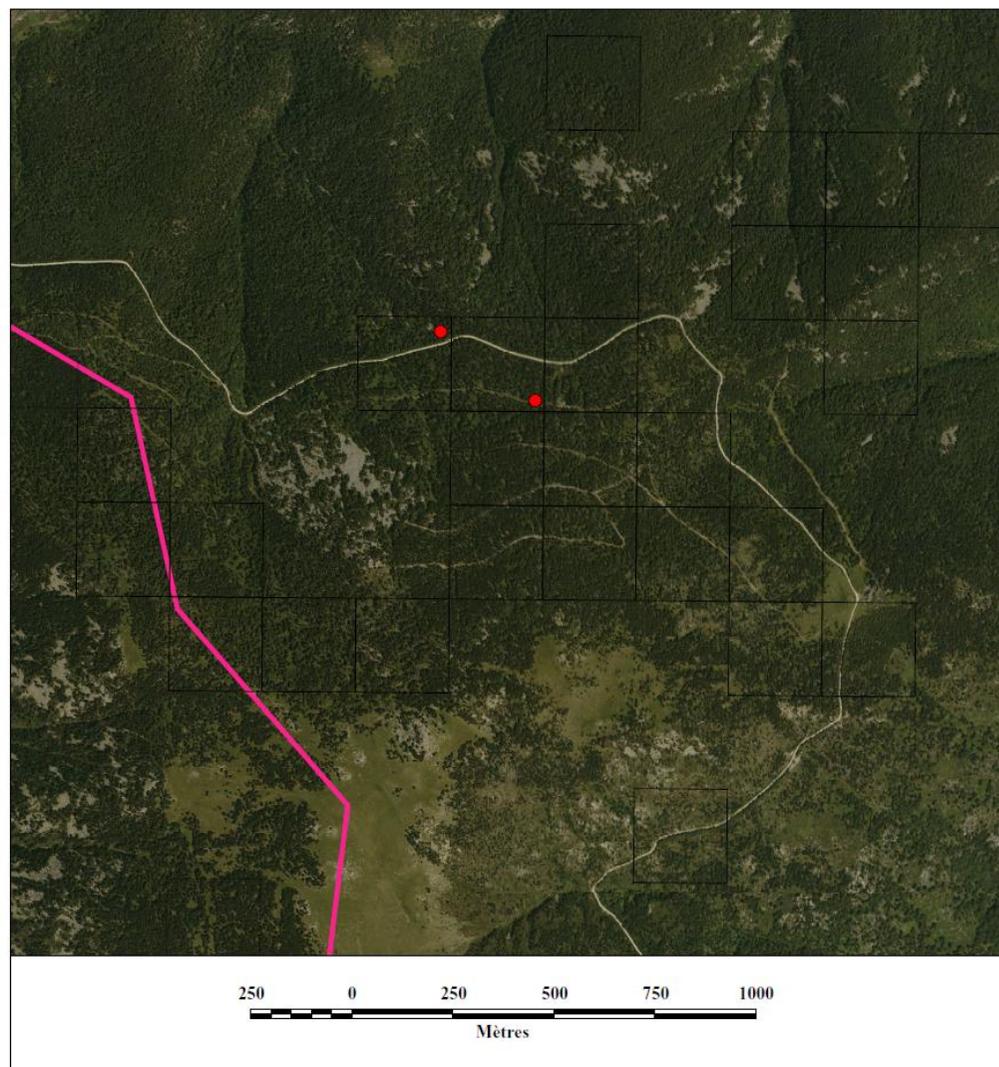
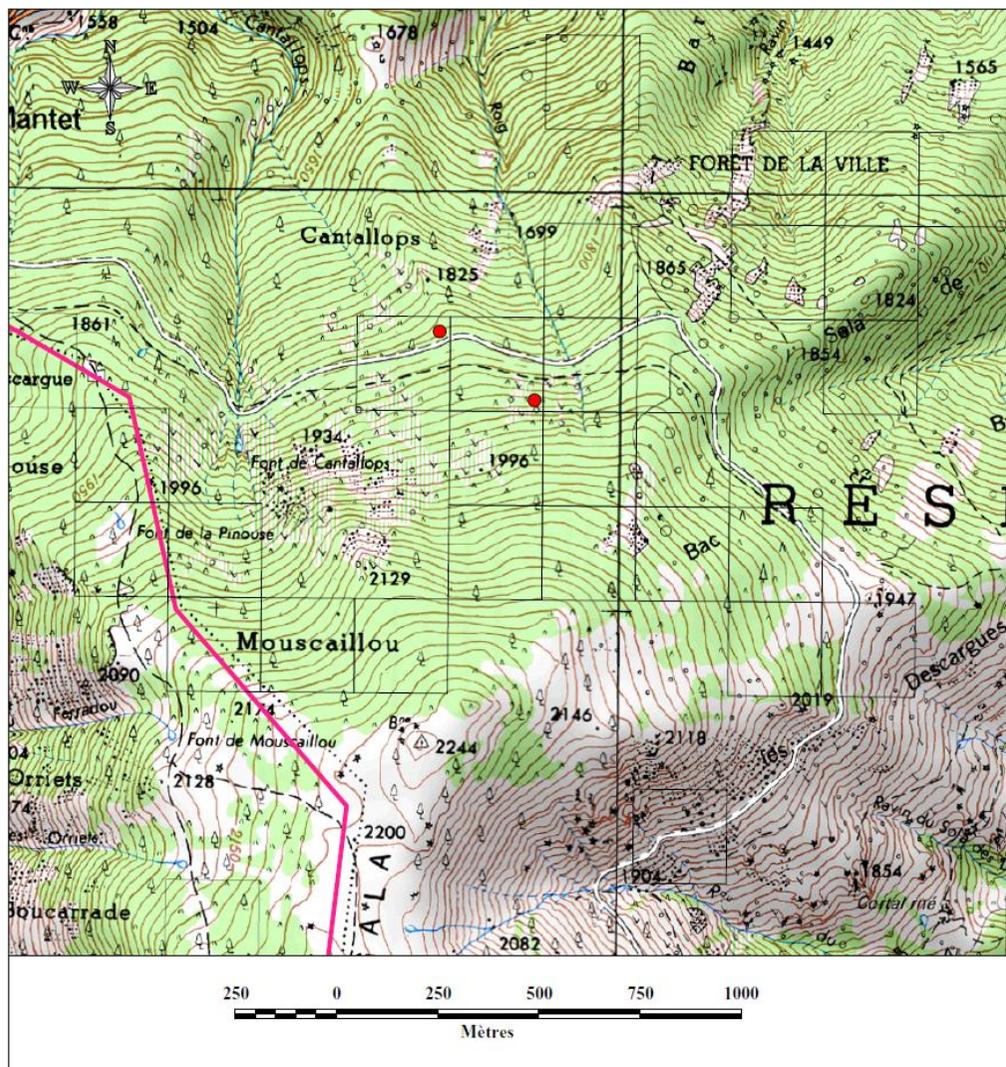
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
15 février 2013

MARTY Pauline
CRPF de Languedoc-Roussillon.



Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site de Py



Légende

Zones de référence

-  Grille des pixels MODIS
- 

Placettes de relevés phénologiques

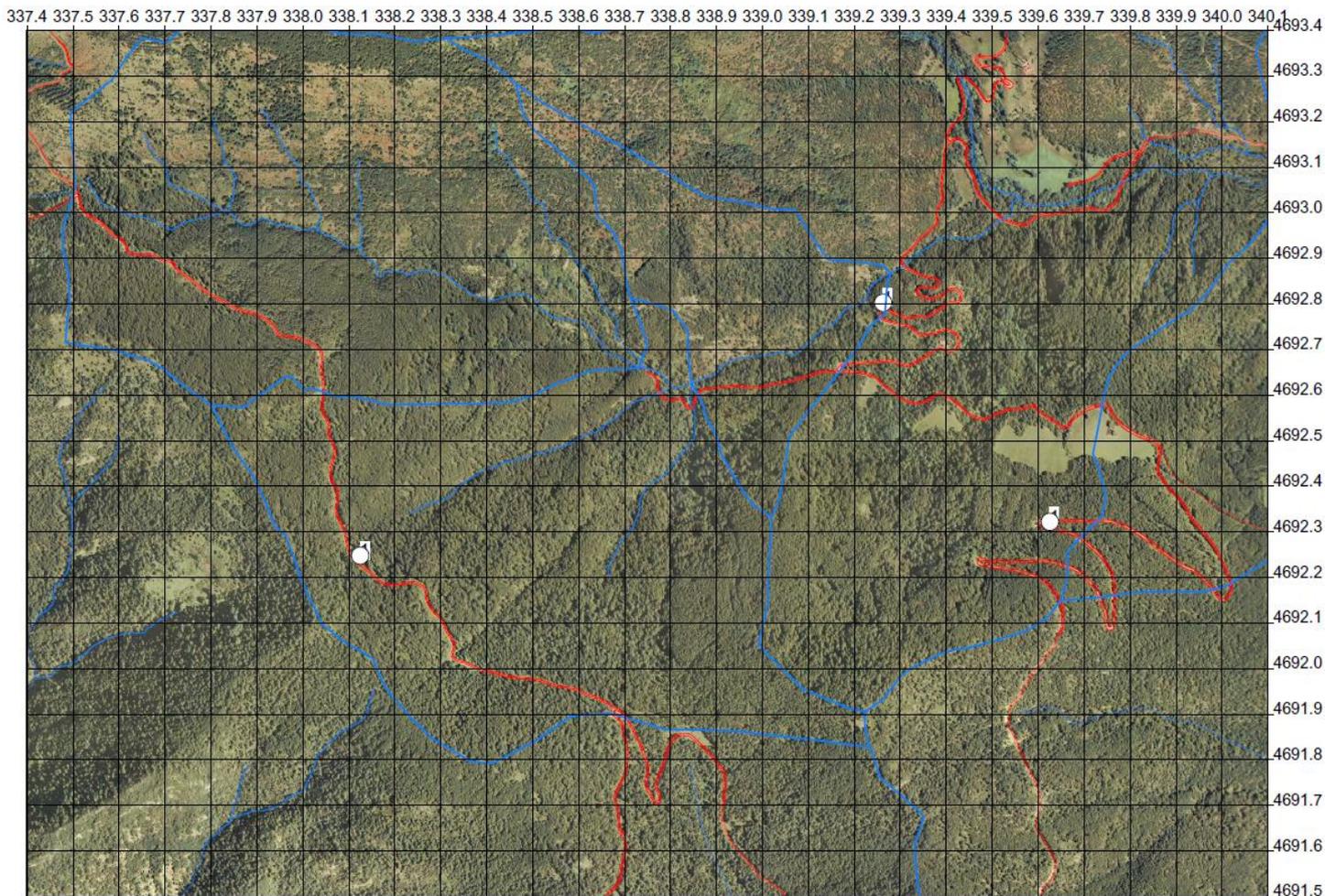
- Placettes par Essence
-  Chêne (3)
 -  Hêtre (13)
 -  Pin à crochets (6)
 -  Sapin (11)

Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO
Données El Purpan - Grille MODIS

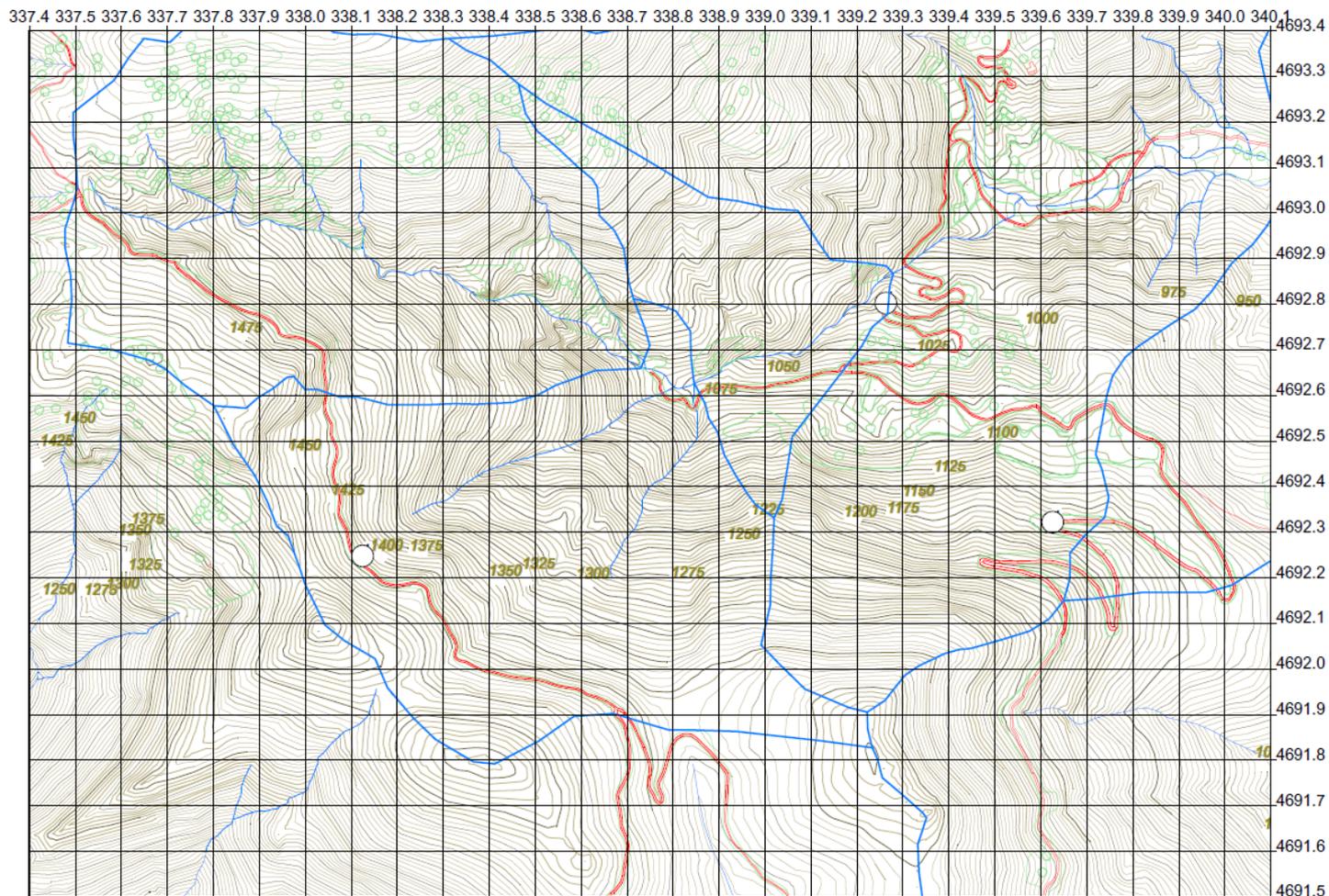
Mise à jour :
15 février 2013

MARTY Pauline
CRPF de Languedoc-Roussillon.



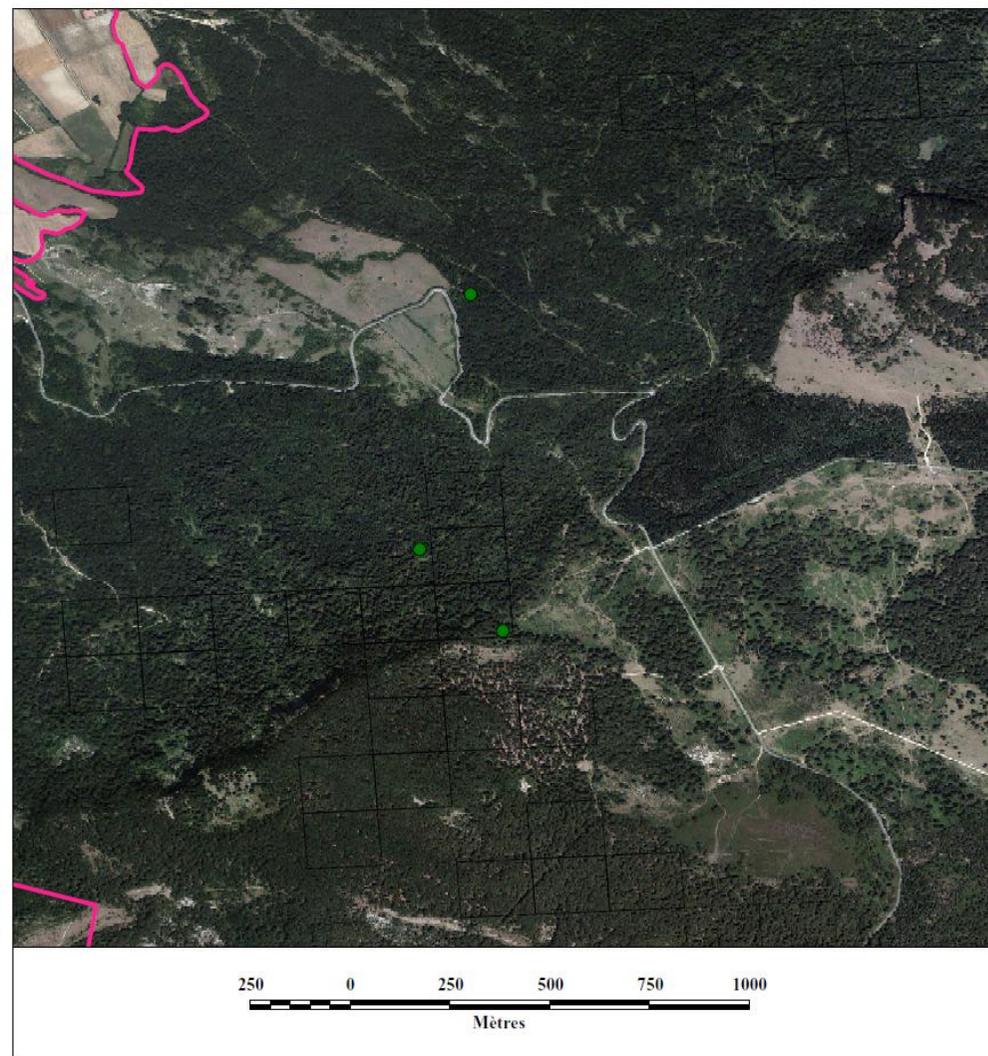


Parcelas fenologia Pinus sylvestris a la Vall Escós, Soriguera, Pallars Sobirà, Catalunya
 Escala 1:10000 X mín: 337400; X màx: 340100 Y mín: 4691500; Y màx: 4693400



Parcelas fenologia Pinus sylvestris a la Vall Escós, Soriguera, Pallars Sobirà, Catalunya
 Escala 1:10000 X mín: 337400; X màx: 340100 Y mín: 4691500; Y màx: 4693400

Localisation des placettes de relevés phénologiques de l'OPCC Site d'Opakua



Légende

Zones de référence



Grille des pixels MODIS



Placettes phénologiques

Chêne

Hêtre

Sapin

Sources :
Données GeoEuskadi © - Othophotos
Données El Purpan - Grille MODIS

Mise à jour :
14 juin 2014

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



5.2 – Les relevés floristiques

5.2.1 – Objectifs

Les scientifiques du GIEC prédisent, pour les décennies à venir, une augmentation de la température moyenne de 1°C à 4°C, une évolution du régime des précipitations, une forte fréquence d'évènements extrêmes. Nous émettons l'hypothèse que ces évolutions du climat entraîneront des changements dans la distribution des espèces forestières ligneuses et herbacées.

En zone de montagne, la température diminue avec l'altitude de 0,6°C tous les 100 m : un réchauffement de 1°C pourrait entraîner une remontée des espèces de 150 m. Cette hypothèse ne tient toutefois pas compte : de la capacité d'adaptation des espèces, de freins à la migration (paysage fragmenté, capacité de dispersion limitée), de l'évolution des autres facteurs climatiques (pluviométrie...). La communauté scientifique ne possède pas à ce jour la réponse à cette interrogation : « Quelle seront les conséquences du changement climatique sur la distribution des espèces végétales forestières ? ».

Le suivi floristique prévu dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC) s'inscrit dans cette réflexion. Il s'opèrera sur certaines zones de référence préétablies dans ce cadre (voir annexe et 1.2.2 ci dessus).

Il vise à répondre à la question suivante : « **Quelles seront les évolutions de la distribution des espèces forestières herbacées et ligneuses au sein des zones de référence OPCC ?** ».

L'analyse des résultats obtenus visera à préciser les corrélations entre les potentielles évolutions de distribution et les évolutions climatiques.

Suivre l'évolution de la distribution de la flore forestière répond à un double objectif :

- suivre l'évolution des changements de distribution des espèces végétales pour eux-mêmes en tant que composante des changements de biodiversité ;
- suivre indirectement les changements de caractéristiques stationnelles, la flore étant indicatrice de divers facteurs (température, humidité, acidité, teneur en azote...).

5.2.2 – Echantillonnage

En zone de montagne, les conditions climatiques varient selon l'altitude, l'exposition ainsi que, pour les Pyrénées, la latitude.

Un gradient climatique latitudinal s'observe en comparant les quatre zones de référence OPCC. Au sein de chacune des zones, les gradients climatiques sont liés à l'altitude et l'exposition. L'altitude est la variable spatiale la plus intéressante pour étudier les changements de distribution vis-à-vis du changement climatique (Lenoir, 2009)³.

Ainsi, des placettes de relevés sont mises en place en tenant compte d'un échantillonnage stratifié en fonction de l'altitude en priorité, puis de l'exposition.

Afin d'atteindre les objectifs précédemment évoqués, il a été décidé d'implanter des transects selon un gradient altitudinal, avec un écart d'une centaine de mètres d'altitude entre les différentes placettes.

³ J. Lenoir – *Impacts d'un réchauffement rapide du climat sur la distribution des espèces végétales forestières le long du gradient d'altitude.* – 2009 – 266 p.

Pour une meilleure représentativité des données, on a souhaité disposer d'une vingtaine de placettes floristiques par zone de référence. Ainsi, dans chaque zone de référence choisie (Py et Saint-Béat), deux transects ont été installés en exposition nord et en respectant un intervalle de 100 m de dénivelé entre les placettes.

Pour l'implantation des transects altitudinaux, ont été recherché des variations minimales en termes d'exposition et un dénivelé couvert maximal. Ainsi, l'échantillonnage est le suivant :

Tableau 5 : Echantillonnage des placettes de relevés floristiques de l'OPCC

Zone de référence française	Numéro du transect	Placette	Altitude (m)	Exposition	Longitude (Lambert 93)	Latitude (Lambert 93)
Saint-Béat	1	1	612	N	512306,61	6203636,99
Saint-Béat	1	2	662	N	512553,24	6203630,82
Saint-Béat	1	3	760	N	512978,1	6203524,37
Saint-Béat	1	4	868	N	512902,42	6203269,25
Saint-Béat	1	5	1010	N	513129,37	6203032,28
Saint-Béat	1	6	1095	N	513415,93	6203093,74
Saint-Béat	1	7	1203	N	513832,12	6202974,37
Saint-Béat	1	8	1304	N	514217,42	6203039,91
Saint-Béat	1	9	1398	N	514982,96	6203012,68
Saint-Béat	1	10	1482	N	515312,69	6202857,84
Saint-Béat	2	11	971	N	515467,93	6204193,36
Saint-Béat	2	12	1065	N	515816,07	6204003,19
Saint-Béat	2	13	1156	N	516102,74	6203879,1
Saint-Béat	2	14	1250	N	516301,06	6203601,12
Saint-Béat	2	15	1342	N	516456,9	6203427,81
Saint-Béat	2	16	1434	N	516576,12	6203318,18
Saint-Béat	2	17	1561	N	516693,93	6203129,72
Saint-Béat	2	18	1651	N	516785,83	6202993,62
Py	1	1	1304	N	645415,23	6154578,52
Py	1	2	1411	N	645402,72	6154422,33
Py	1	3	1493	N	645371,25	6154249,9
Py	1	4	1604	N	645399,96	6154015,11
Py	1	5	1697	N	645376,77	6153777,52
Py	1	6	1816	N	645383,73	6153535,3
Py	1	7	1914	N	645455,73	6153251,16
Py	1	8	1999	N	645319,23	6152945,13
Py	1	9	2100	N	645187,71	6152683,07
Py	1	17	2209	N	645001,5	6152390,28
Py	2	10	1591	N	646581,21	6151825,41
Py	2	11	1667	N	646743,6	6151622,21
Py	2	12	1791	N	646742,16	6151376,8
Py	2	13	1893	N	646713,69	6151144,41
Py	2	14	1991	N	646671,33	6150894,18
Py	2	15	2102	N	646467,39	6150582,13
Py	2	16	2202	N	646288,02	6150277,56

5.2.3 – Protocole

À l'instar des réseaux européens déjà existants, les relevés des placettes floristiques devront être réalisés tous les 5 ans afin de déterminer de possibles modifications du cortège floristique.

Au sein de chacune des placettes, seront caractérisées :

- **la composition floristique**, en listant les espèces de chaque strate de végétation ainsi que leur abondance dominante ;
- **la station**, grâce à un relevé relatif à la topographie, au sol et au peuplement (couple hauteur/âge), à des analyses en laboratoire d'échantillons de sol prélevés, ainsi qu'à une analyse SIG des conditions climatiques ;
- **les conditions d'éclaircissement**, grâce à un relevé relatif au peuplement et au recouvrement de chaque strate de végétation.

Chaque placette se compose de 4 sous-placettes d'une surface de 100 m² (25 m de long sur 4 m de large). La figure ci-dessous illustre de manière schématique l'emplacement des sous-placettes.

Sur chaque sous-placette, ont été inventoriés, en utilisant les coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet, tous les végétaux en distinguant les strates arborées, arbustives, les semis, herbacés et mousses.

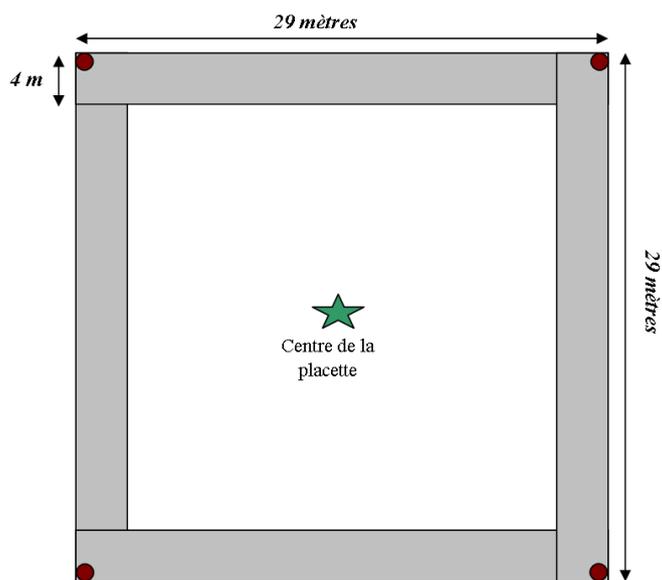


Figure 12 : Schéma des placettes de relevés floristiques de l'OPCC.

Deux passages sont nécessaires afin d'améliorer l'exhaustivité des relevés et une attention toute particulière a été portée aux dates de relevés sélectionnées pour identifier tant la flore vernale qu'estivale. C'est pourquoi, il a été décidé de faire un passage de relevés floristiques au printemps et l'autre en été.

Les dates choisies pour la campagne de relevés 2013 sont les suivantes :

- du 13 au 17 mai pour les relevés printaniers
- du 15 au 19 juillet pour les relevés estivaux.

Les prochains relevés (en 2018) auront lieu aux mêmes périodes, avec au besoin un décalage d'une à 2 semaines.

5.2.4 – Localisation des placettes

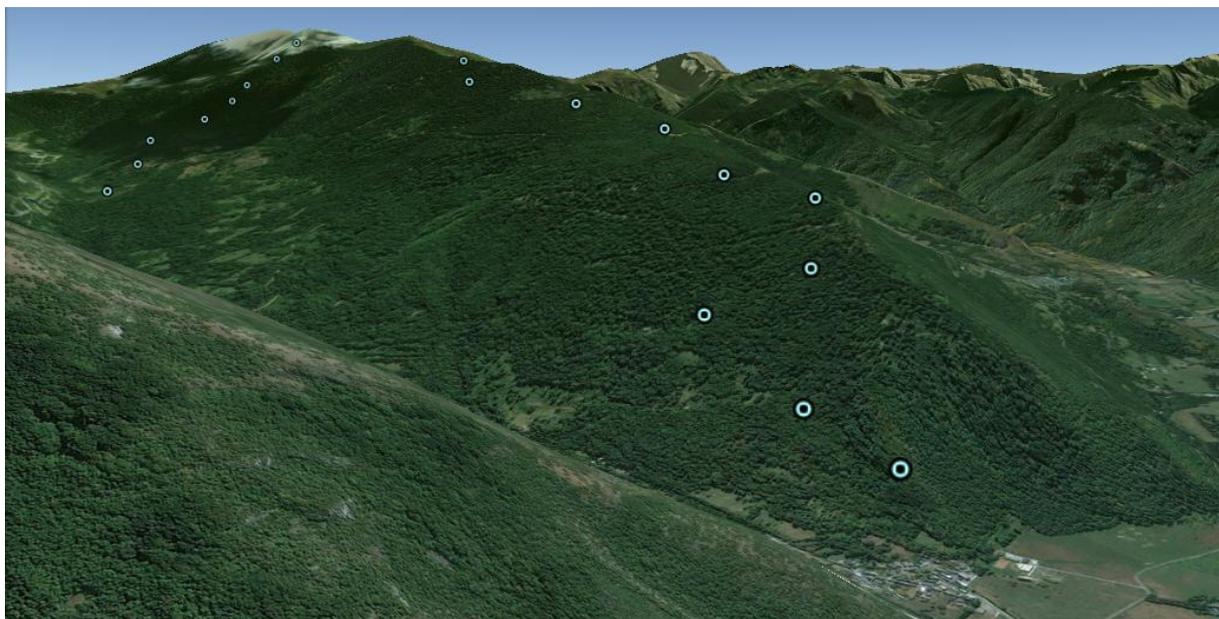
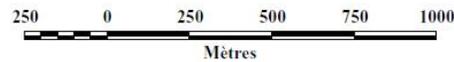
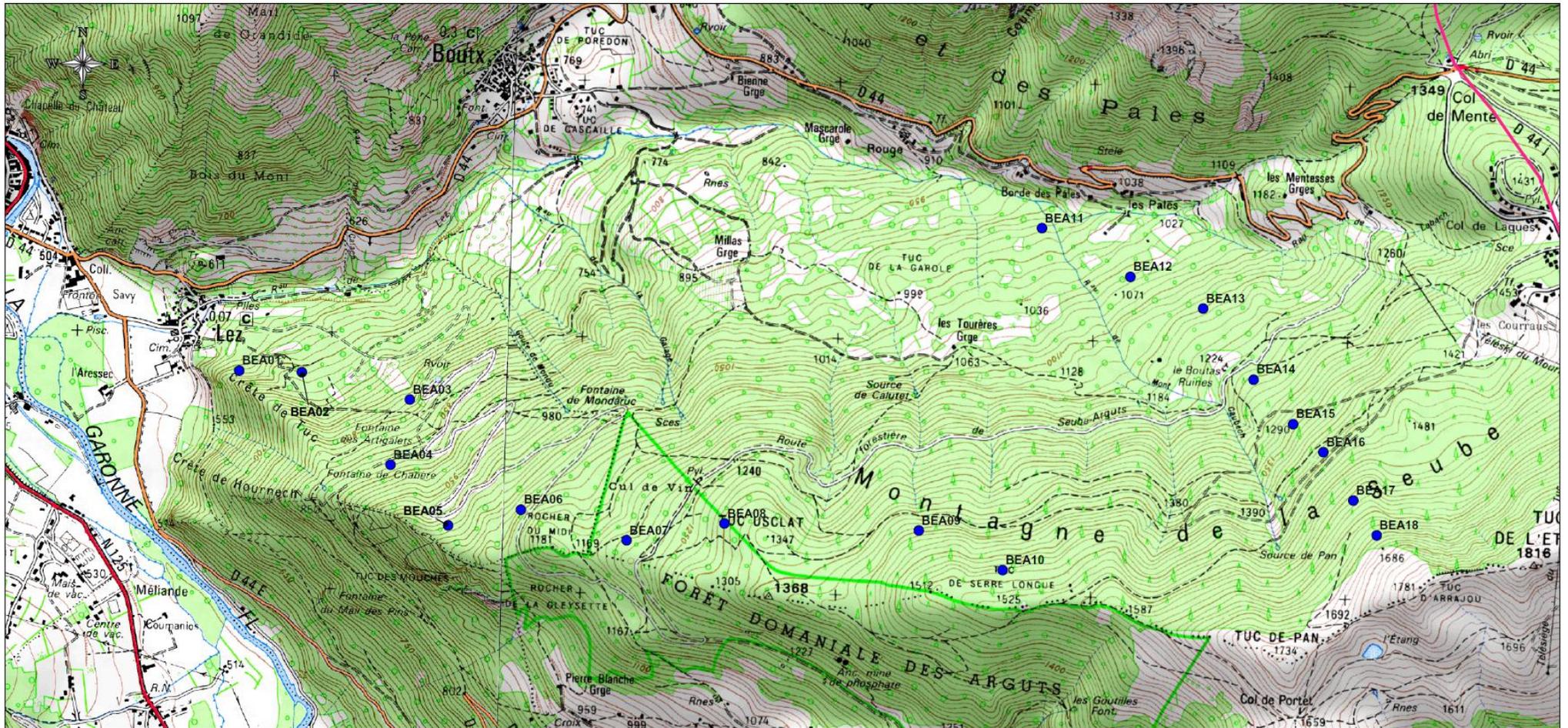


Figure 16 : Vue Google Earth des placettes floristiques de Saint-Béat.



Figure 17 : Vue Google Earth des placettes floristiques de Py.

Localisation des placettes de relevés floristiques de l'OPCC Site de Saint-Béat (31)

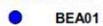


Légende

Zones de référence



Placettes Floristiques OPCC



BEA01

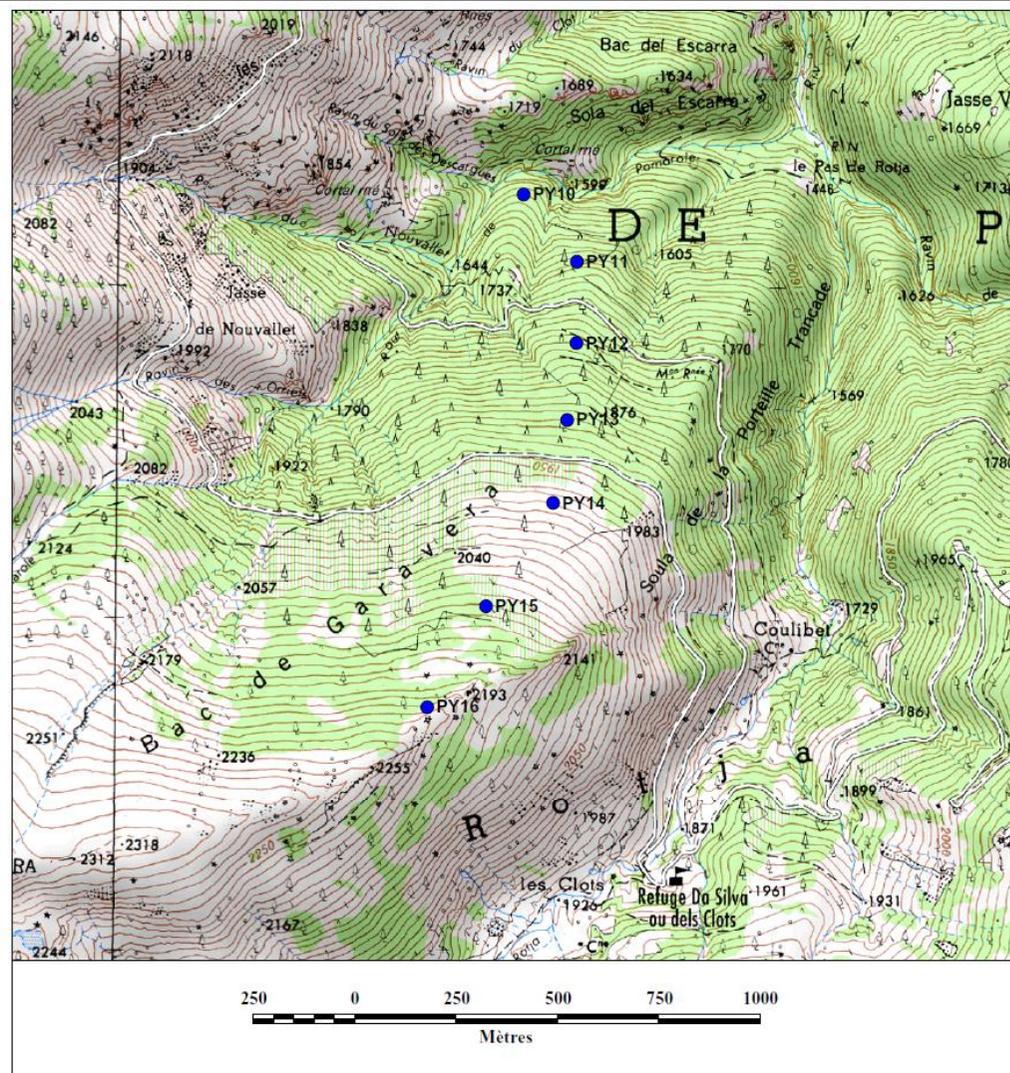
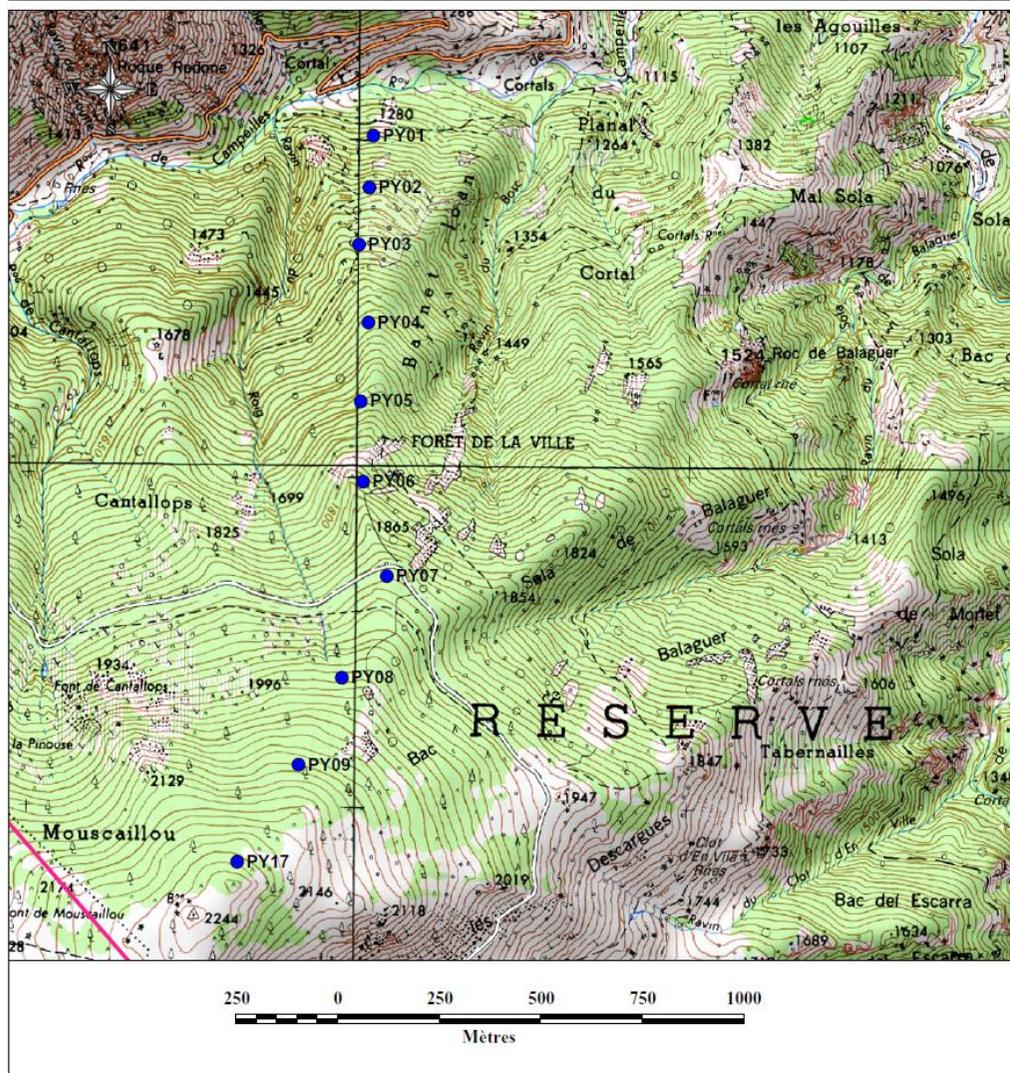
Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées



Localisation des placettes de relevés floristiques de l'OPCC Site de Py (66)



Légende

Zones de référence



Placettes floristiques OPCC



PY01

Sources :
Données IGN © - Scan 25 et BD ORTHO

Mise à jour :
14 juin 2013

ROUYER Emmanuel
CRPF de Midi-Pyrénées





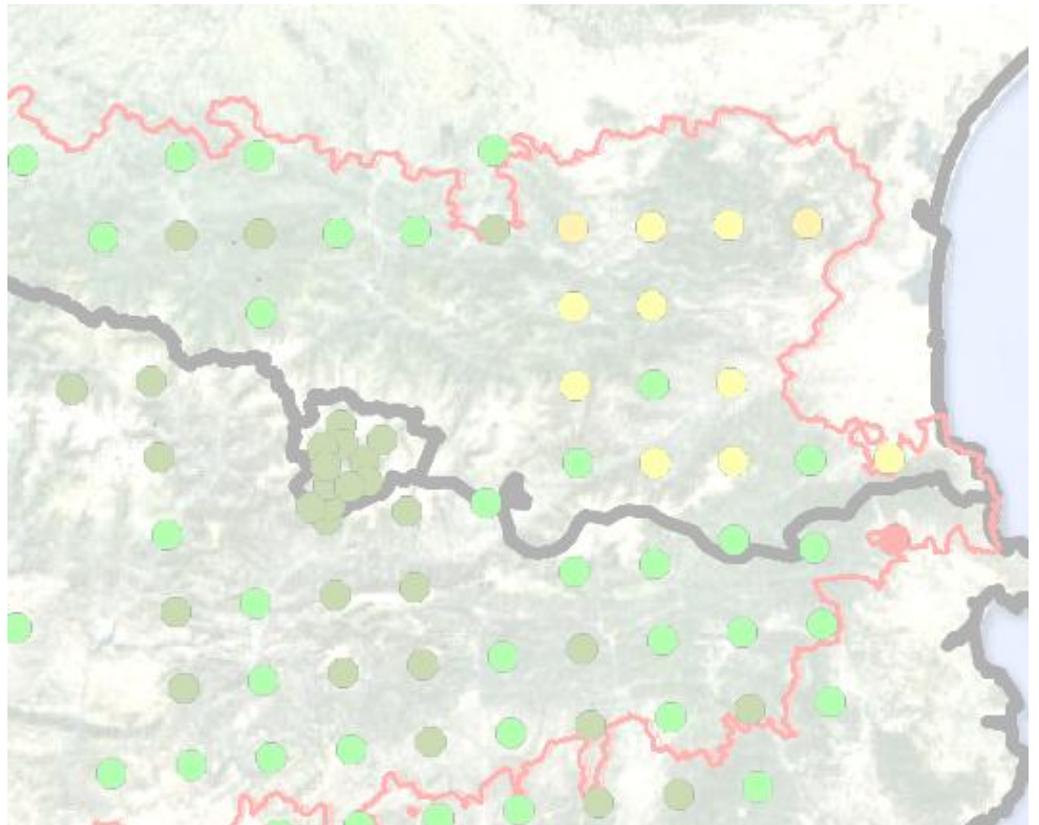
Action "Evolutions Climatiques et Forêt de Montagne" (Axes "Forêt" et "Risques Naturels")
 Acción "Evoluciones Climáticas y Bosques de Montaña" (Ejes "Bosque y "Riesgos Naturales")

Les partenaires / Los socios :



Appui technique :
 Apoyo técnico :

Tome III : ANALYSE DES DONNEES ET PREMIERS RESULTATS



Avec le soutien / Con el apoyo



Les organismes ayant contribué à ce document par la fourniture de jeux de données ne peuvent être tenus responsables de toute erreur ou omission présente dans les données fournies ou de toute interprétation erronée des données fournies.

6.1 – Bilan des données des réseaux existants

Les résultats, tant graphiques que cartographiques, présentés ci-après se réfèrent aux données du réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers. Nous en profitons pour remercier les organismes nationaux responsables de la collecte des données au sein de leur pays et qui ont bien voulu nous faire partager leurs données dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique.

Concernant l'aspect sanitaire des forêts, plusieurs paramètres ont été étudiés : le déficit foliaire, la décoloration foliaire, la mortalité de branches et la mortalité des arbres.

Du fait de changements récents dans les protocoles de relevés, concernant **la décoloration foliaire et la mortalité des branches**, l'historique de données comparables ne remonte qu'à 2011. Trois années de données sont actuellement disponibles et ne permettent pas de cerner des tendances concernant l'évolution de ces paramètres. En outre, il s'avère que le paramètre de décoloration foliaire n'est pas un bon indicateur vis-à-vis du changement climatique.

Quant à **la mortalité des arbres**, elle reste très limitée sur les placettes de relevés. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela. Le changement climatique n'a encore qu'un faible impact sur la survie des arbres forestiers. Cela peut notamment être le cas pour certaines essences. Mais plus sûrement, la sylviculture explique les faibles mortalités constatées. En effet, la gestion forestière tend à favoriser les arbres les plus sains au dépend des arbres dépérissants. Ainsi, lors du passage en coupe d'amélioration des parcelles, les gestionnaires forestiers éliminent les sujets qu'ils considèrent mourants. Ces arbres restent rarement en place jusqu'à leur mort, d'où les faibles taux de mortalité constatés sur les placettes de relevés, qui ne reflètent pas toujours la réalité de la perte de vitalité de certains peuplements.

Au final, le paramètre le plus à même de servir d'indicateur vis-à-vis des changements climatiques est **le déficit foliaire**. En effet, en situation de stress, les arbres perdent une partie de leurs ramifications. Ramifications qu'ils peuvent recréer (résilience) par le développement de bourgeons latents, à la faveur de conditions climatiques plus favorables (DRENOU, 2012). En outre, ce paramètre dispose d'un historique de données assez important. Il est ainsi possible de remonter jusqu'au dernier changement de protocole, en 1997.

La valorisation de ces données a permis, d'une part, d'étudier les évolutions temporelles concernant les espèces, mais également d'identifier de potentielles différences spatiales dans la réaction des écosystèmes forestiers.

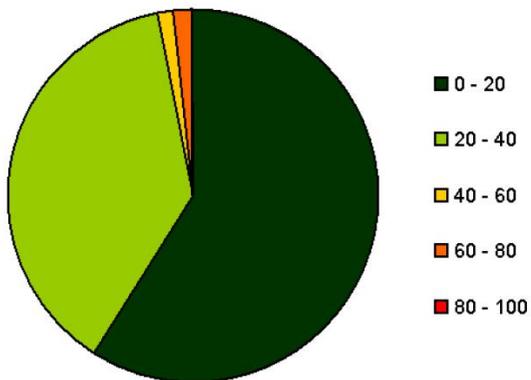
Pour faciliter les analyses, le déficit foliaire a été réparti en 5 classes de déficit foliaire :

- de 0 à 20 % de déficit foliaire (couleur vert foncée),
- de 20 à 40 % de déficit foliaire (couleur vert clair),
- de 40 à 60 % de déficit foliaire (couleur jaune),
- de 60 à 80 % de déficit foliaire (couleur orange),
- de 80 à 100 % de déficit foliaire (couleur rouge).

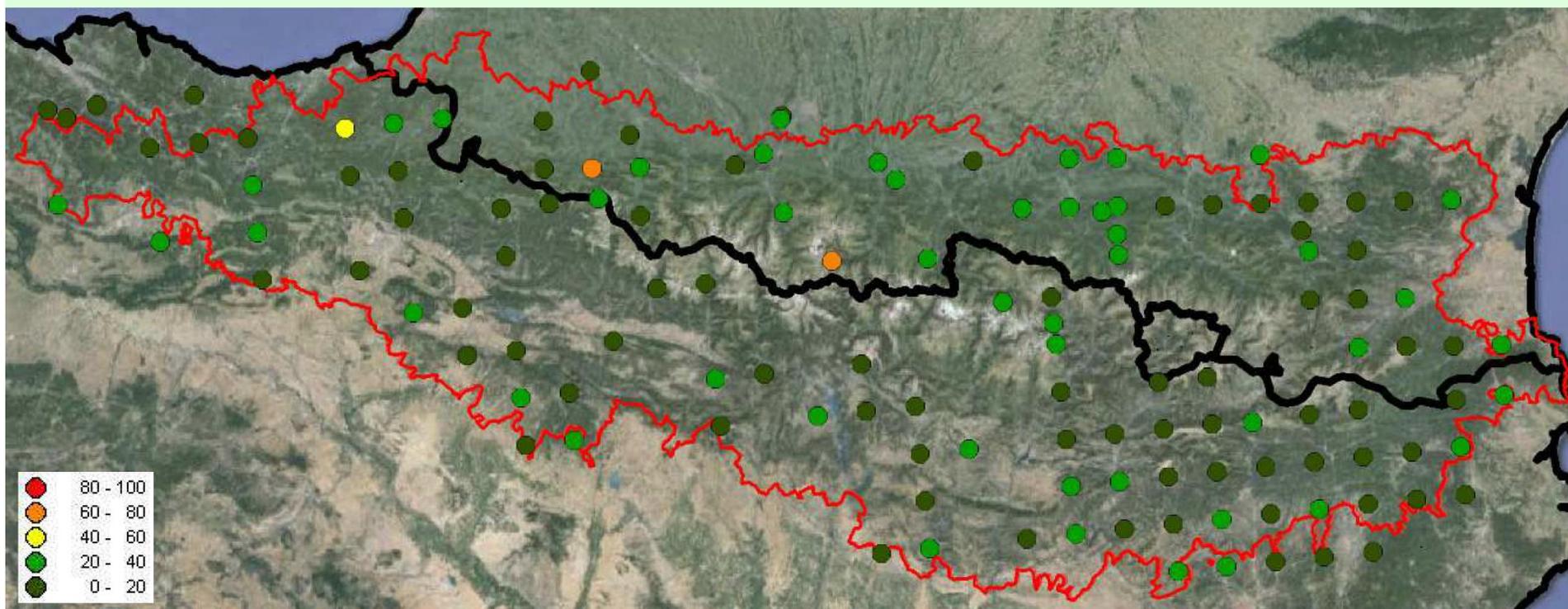
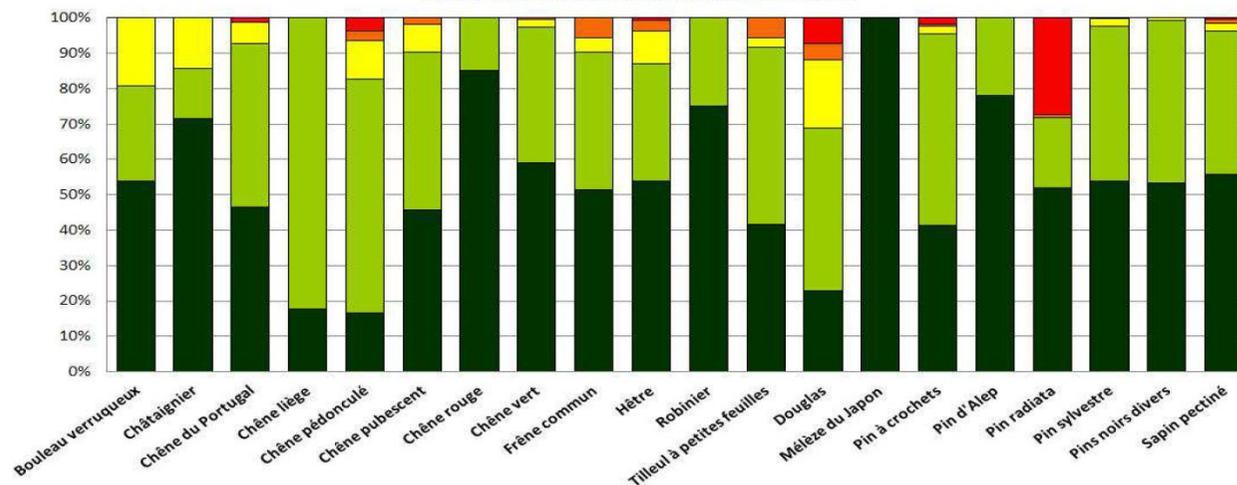
Les pages suivantes font les synthèses annuelles de ces résultats tant d'un point de vue global sur la chaîne de Pyrénées via le graphique en camembert, que par essences, via le graphique en barres, ou par localisation via la carte. Rappelons que pour chaque placette de la carte, plusieurs essences sont concernées car les peuplements sont souvent mélangés.

Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 1997

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

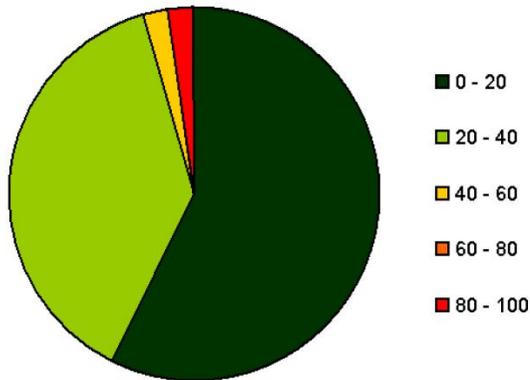


Répartition des classes de défoliation par essence.

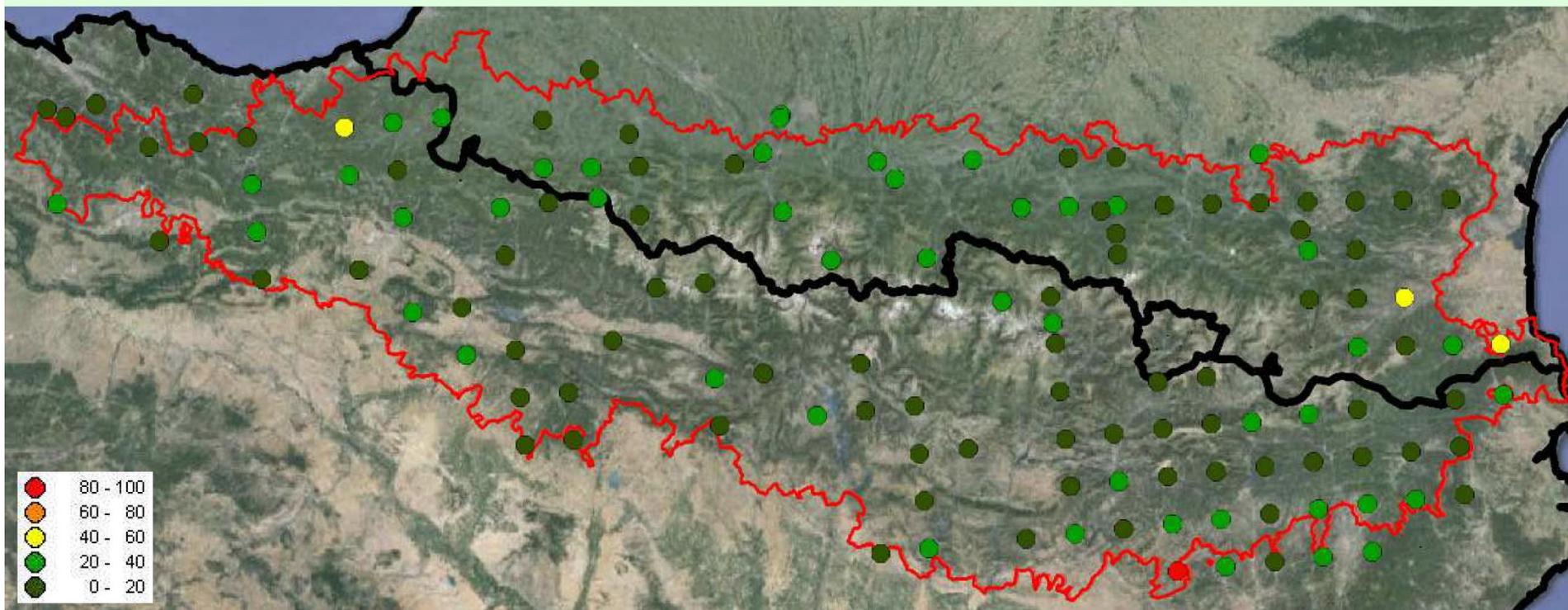
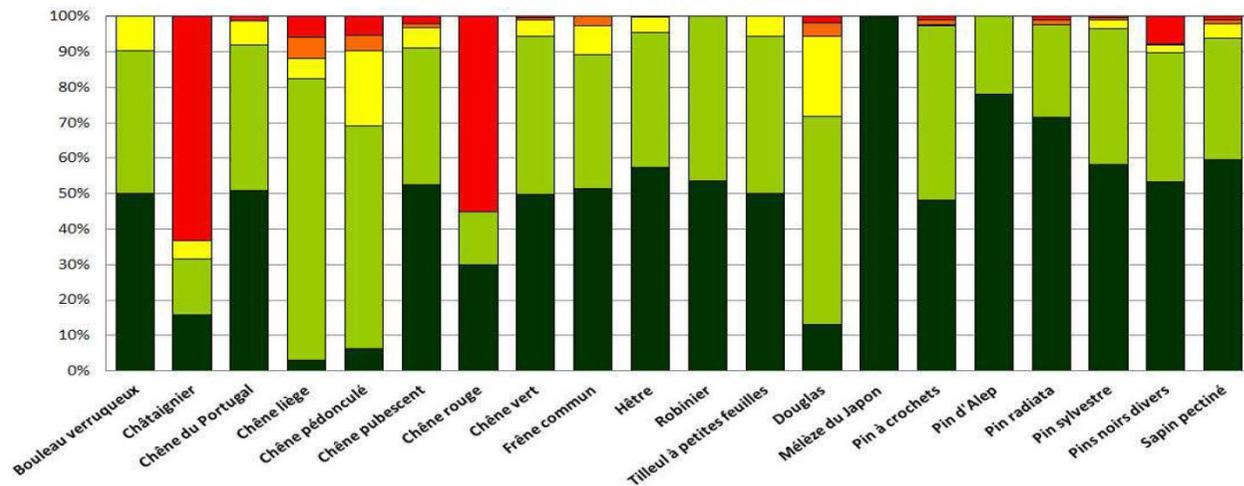


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 1998

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

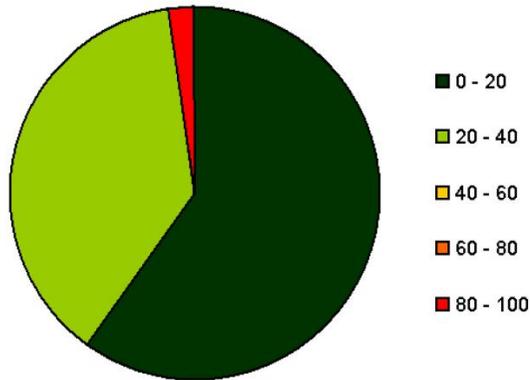


Répartition des classes de défoliation par essence.

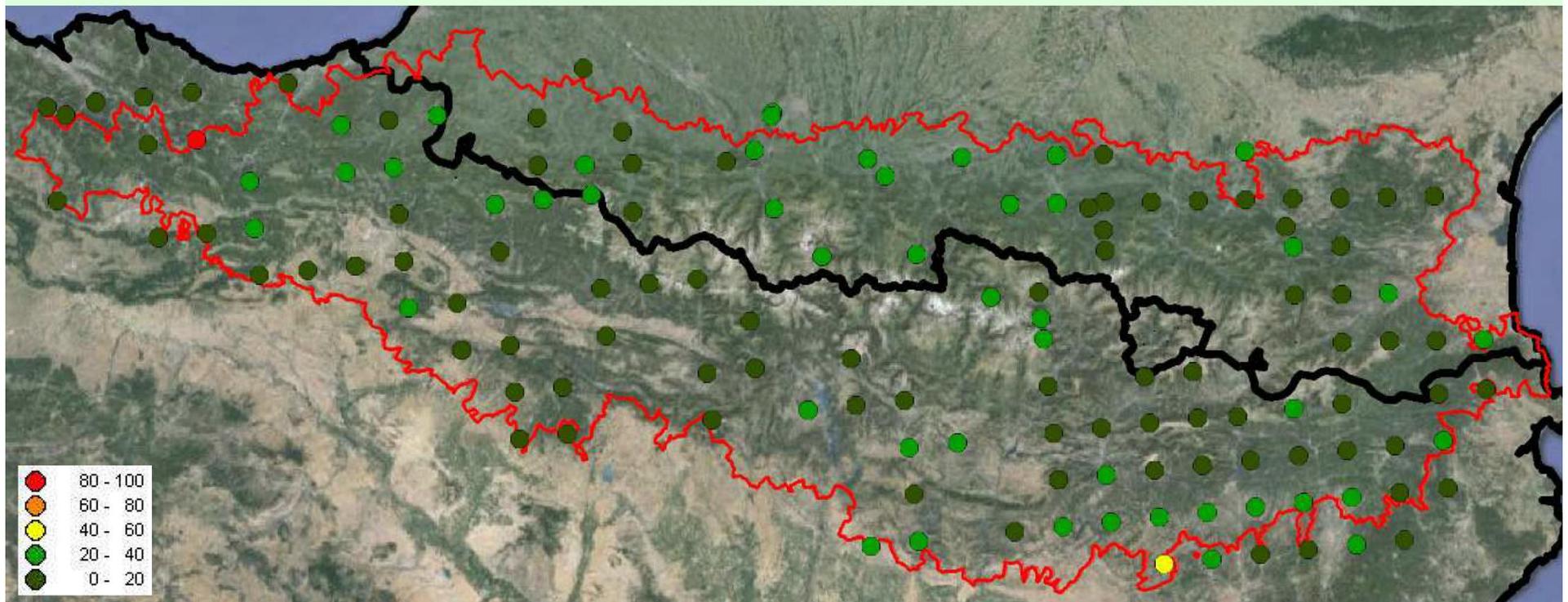
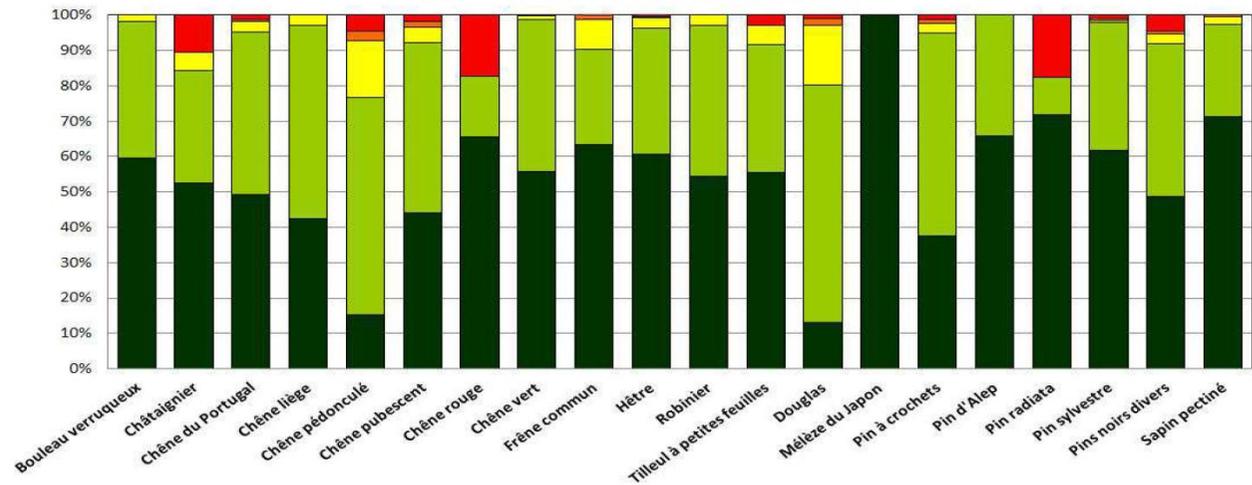


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 1999

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

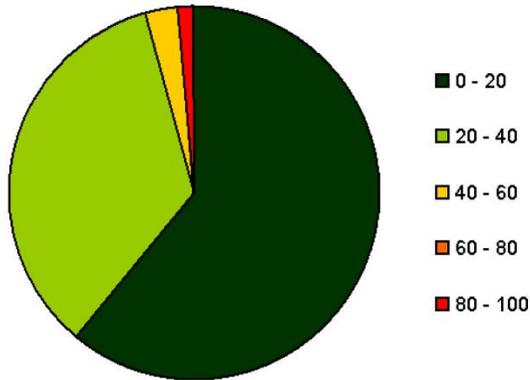


Répartition des classes de défoliation par essence.

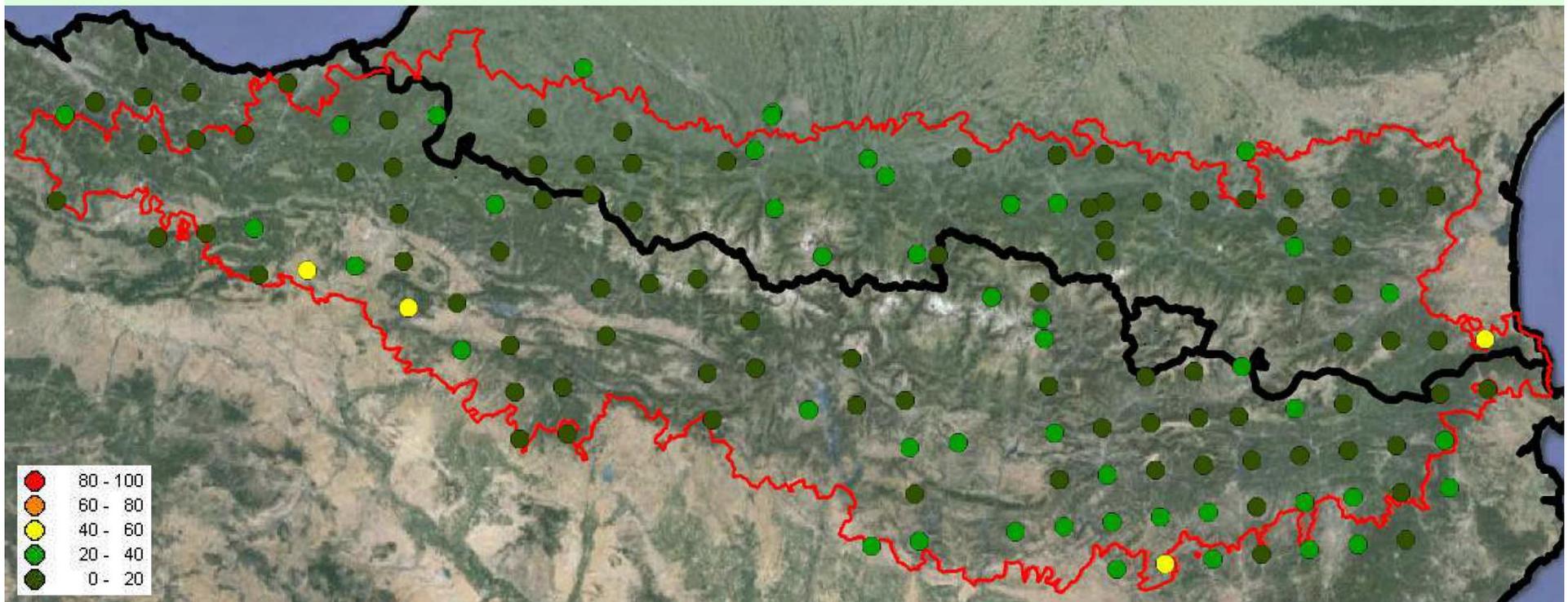
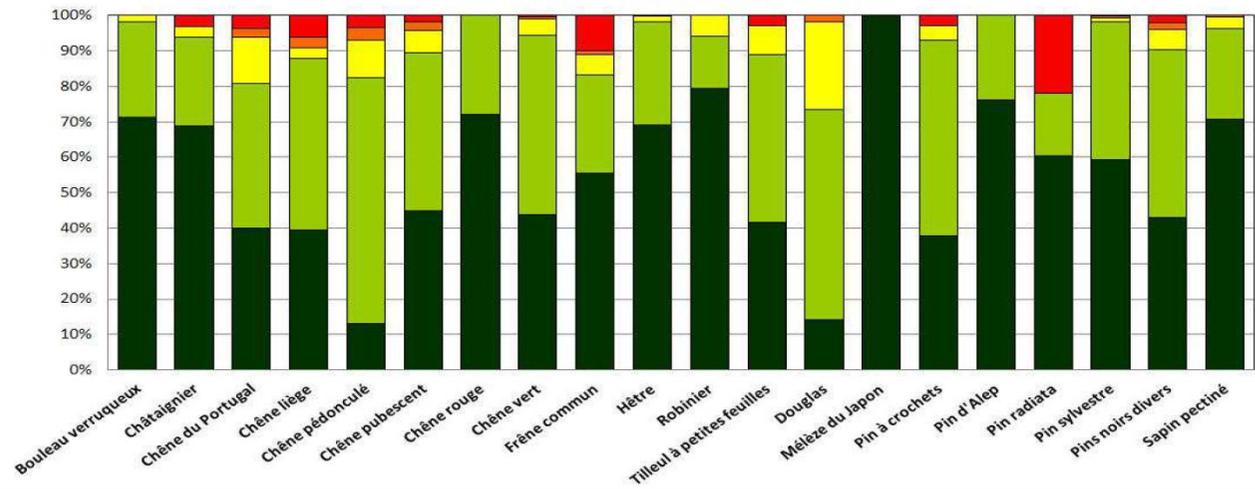


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2000

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

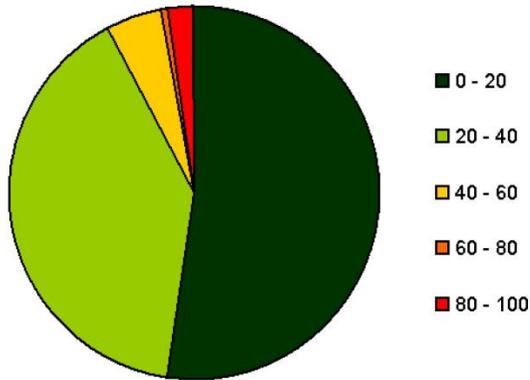


Répartition des classes de défoliation par essence.

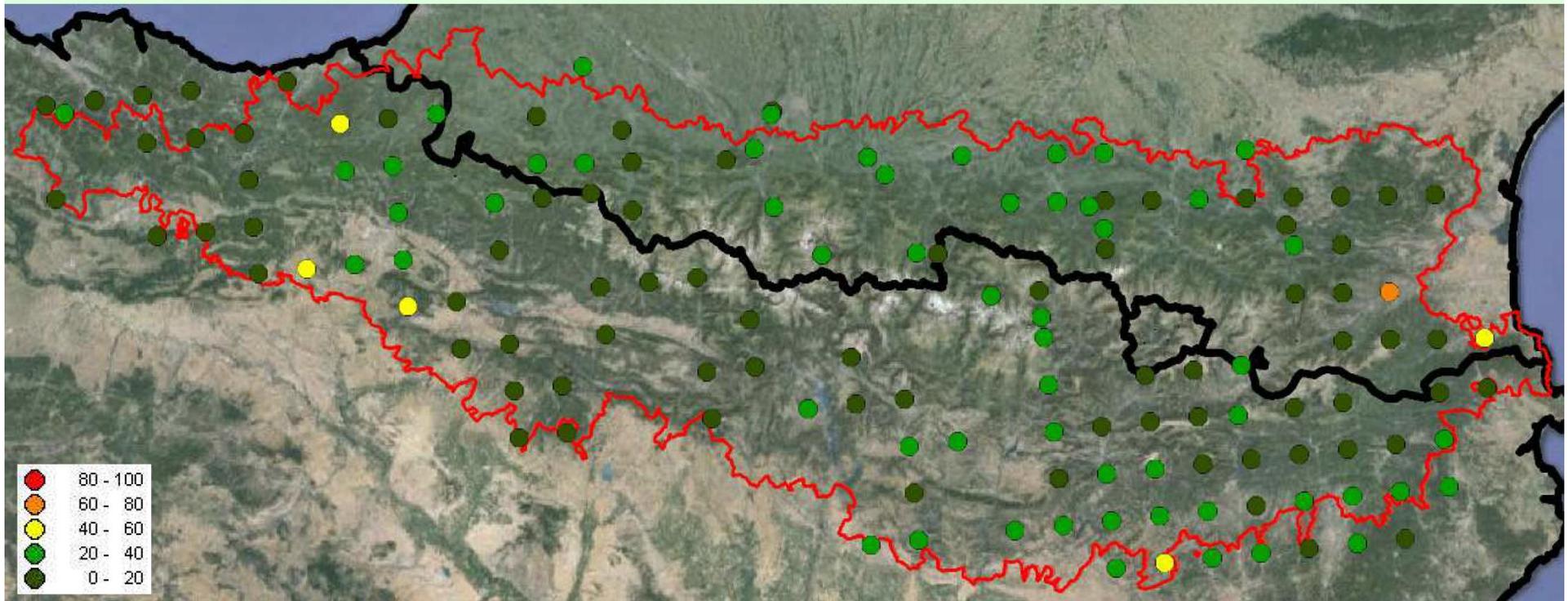
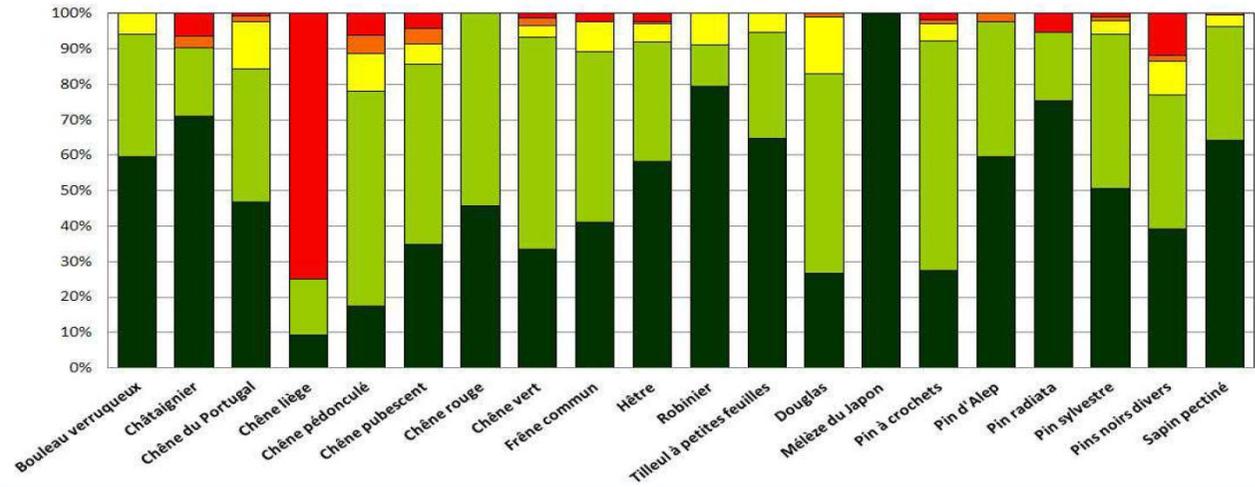


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2001

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

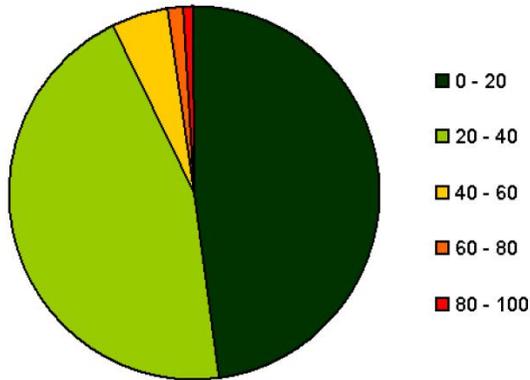


Répartition des classes de défoliation par essence.

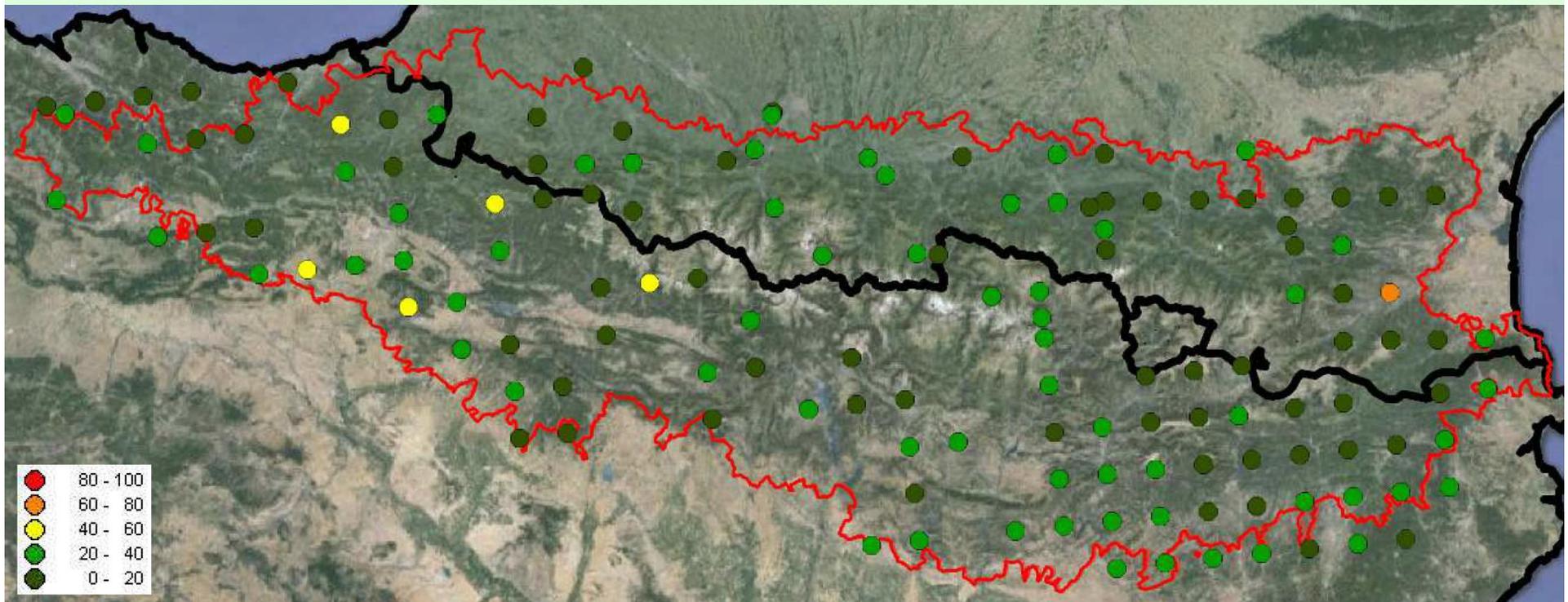
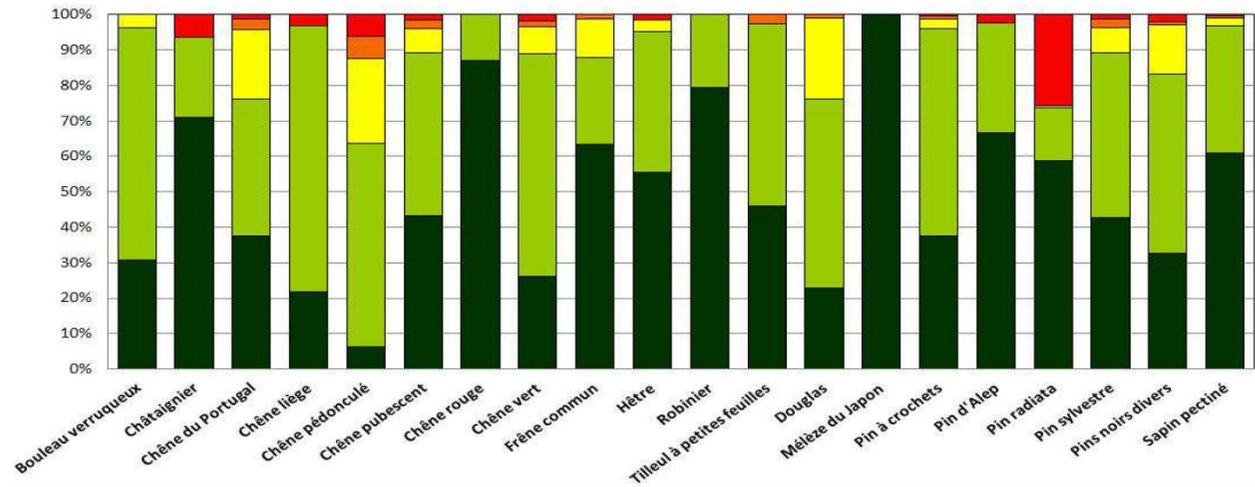


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2002

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

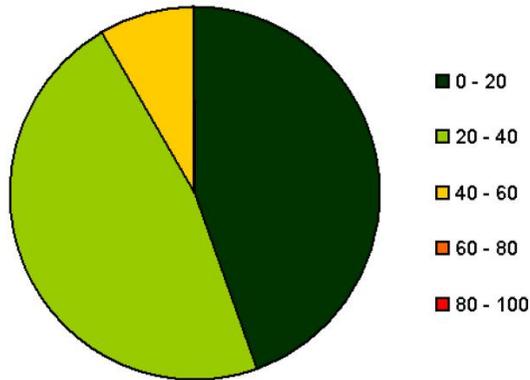


Répartition des classes de défoliation par essence.

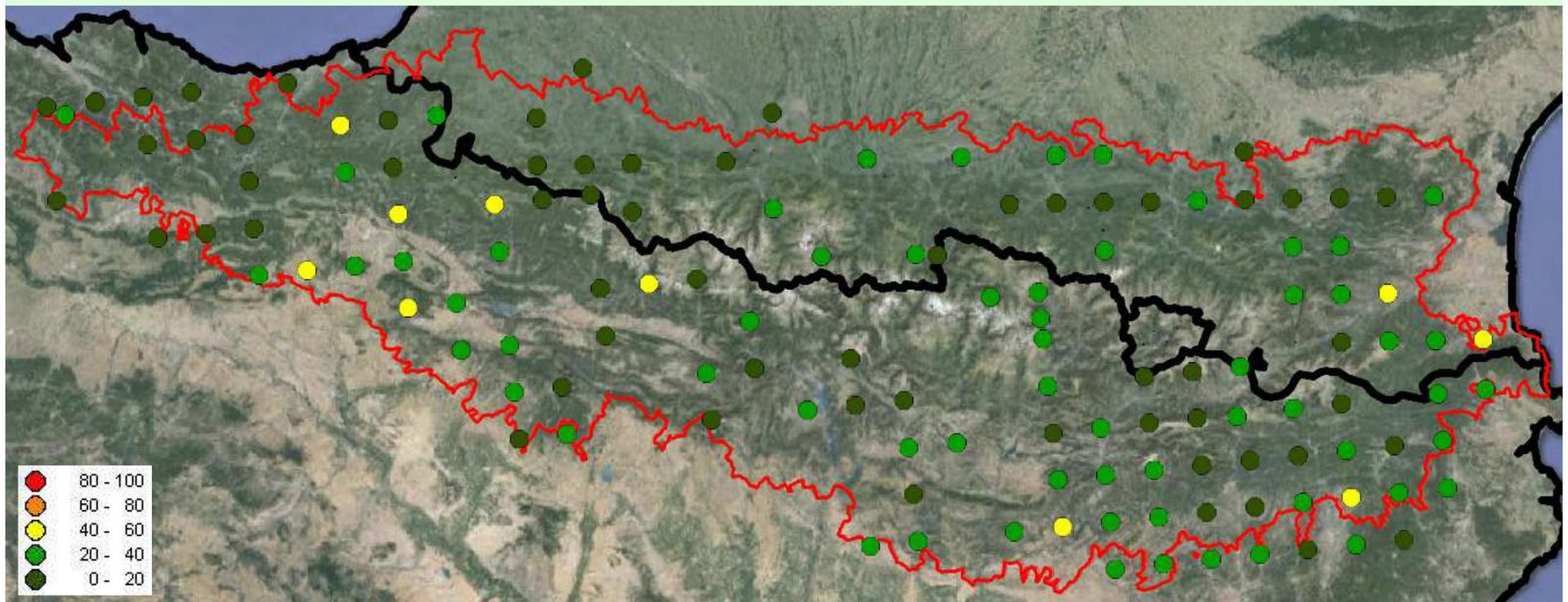
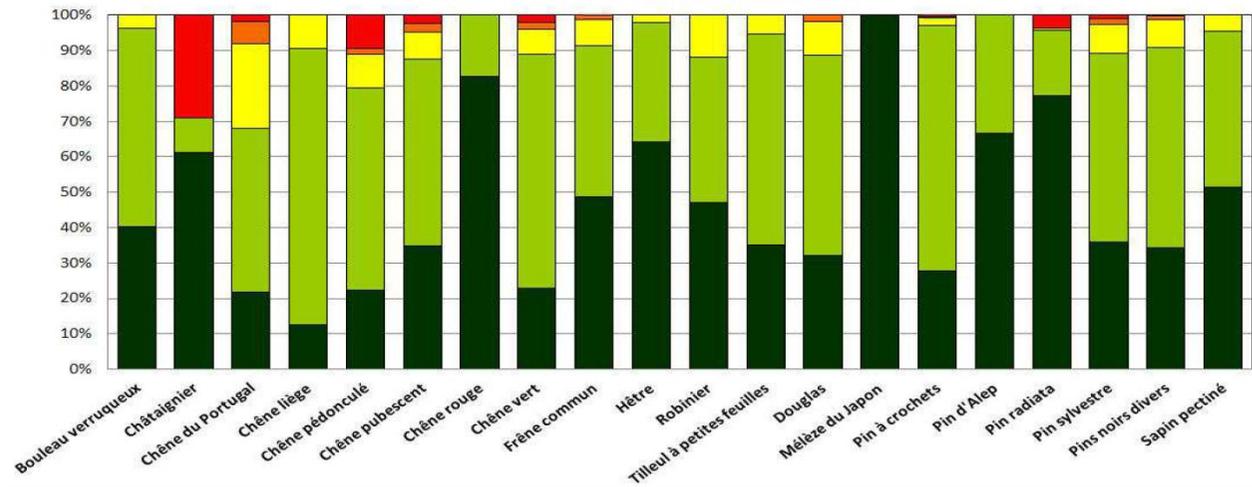


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2003

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

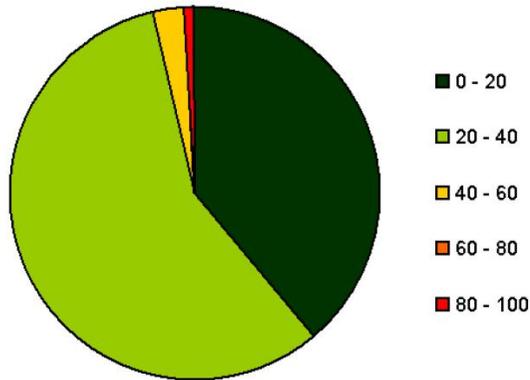


Répartition des classes de défoliation par essence.

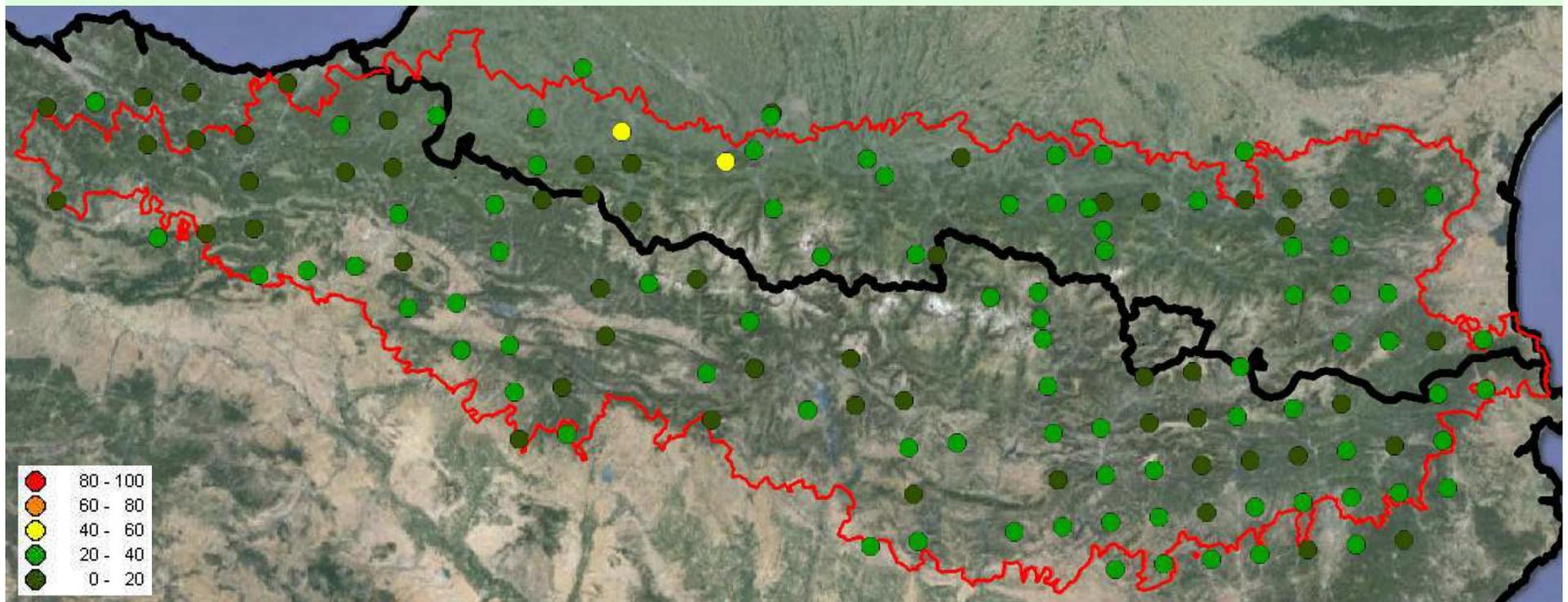
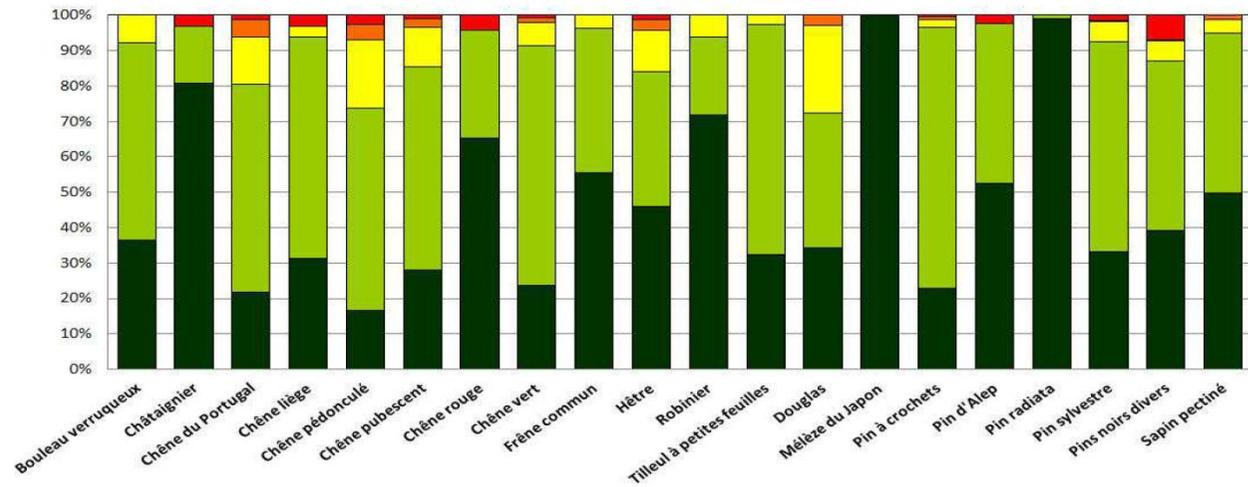


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2004

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

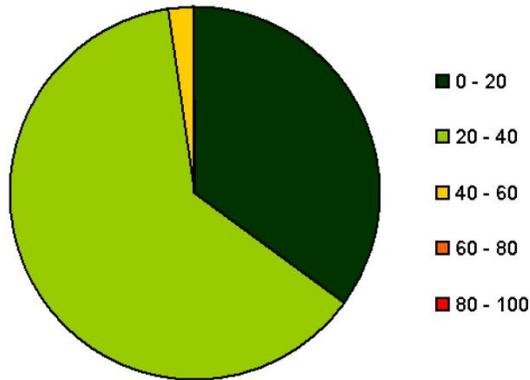


Répartition des classes de défoliation par essence.

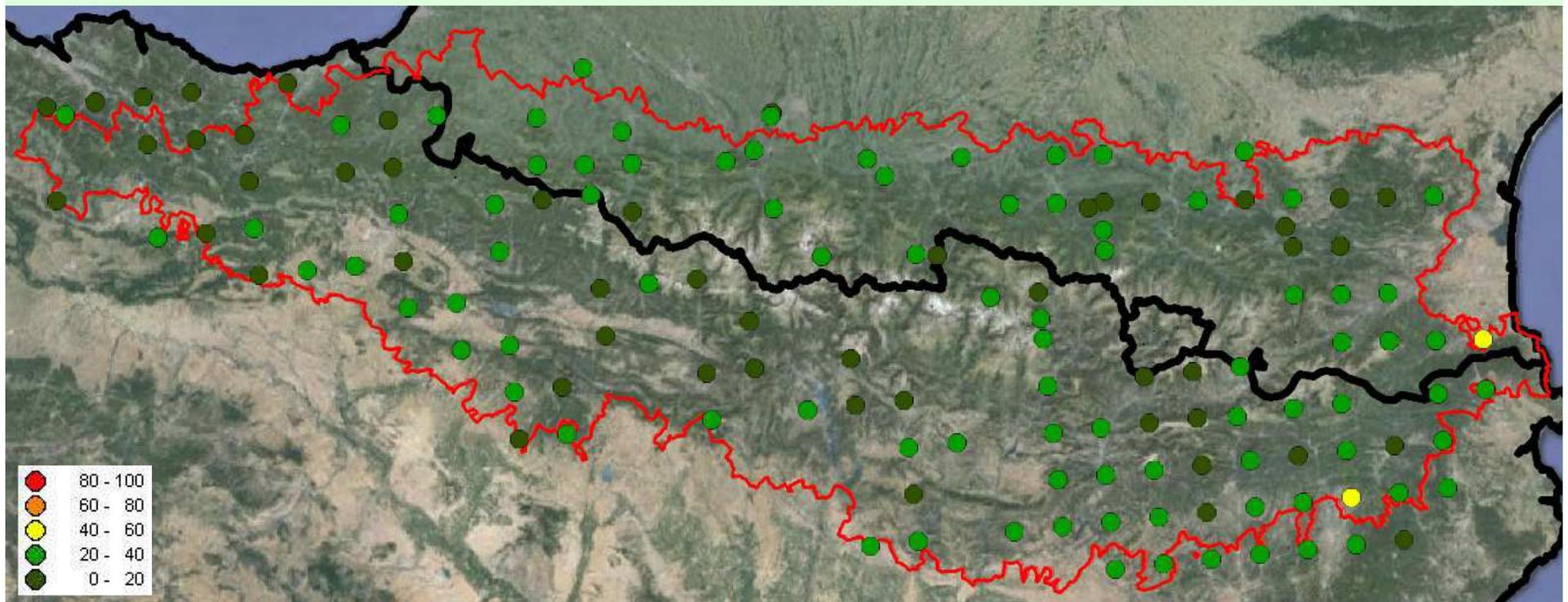
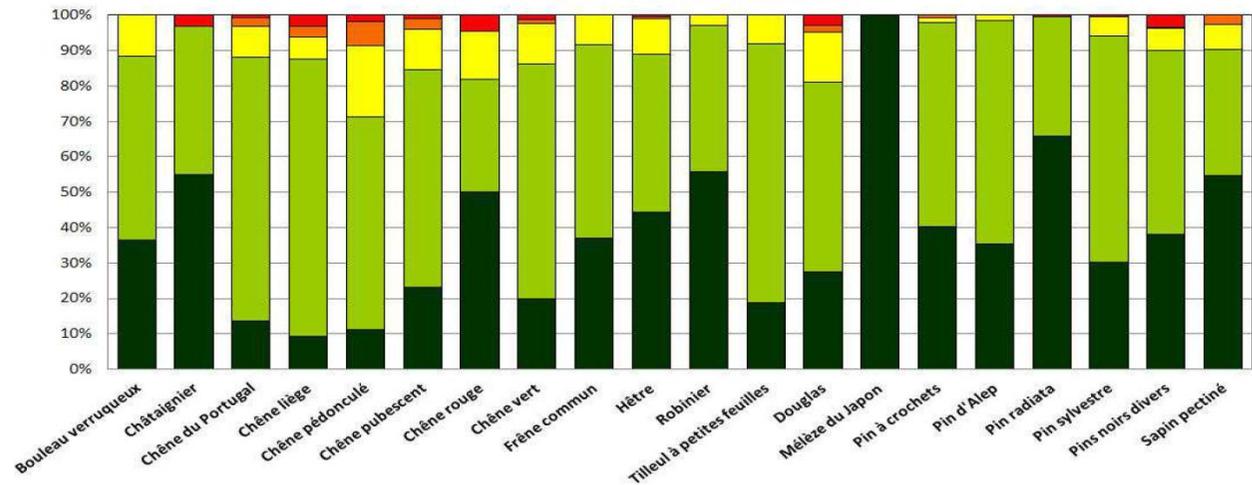


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2005

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

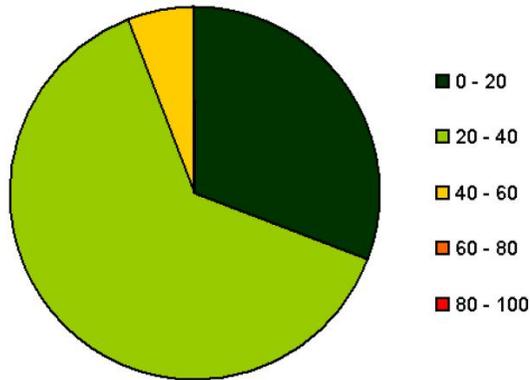


Répartition des classes de défoliation par essence.

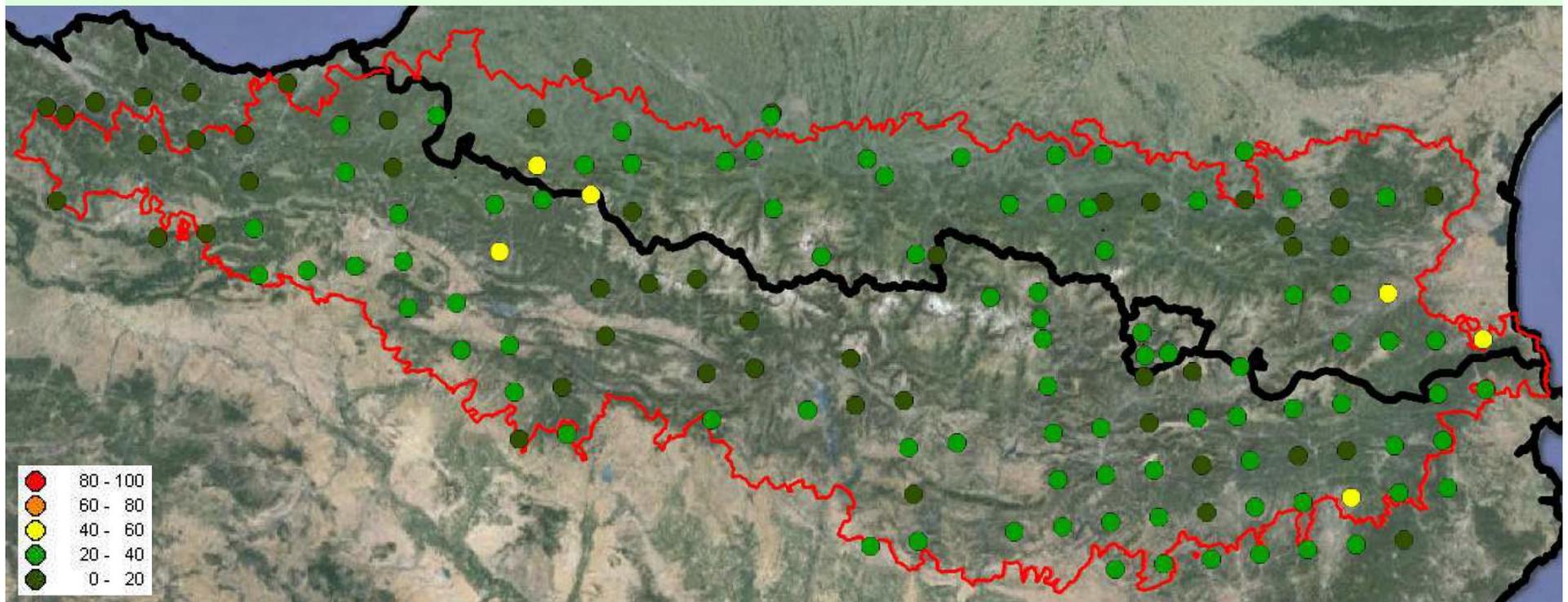
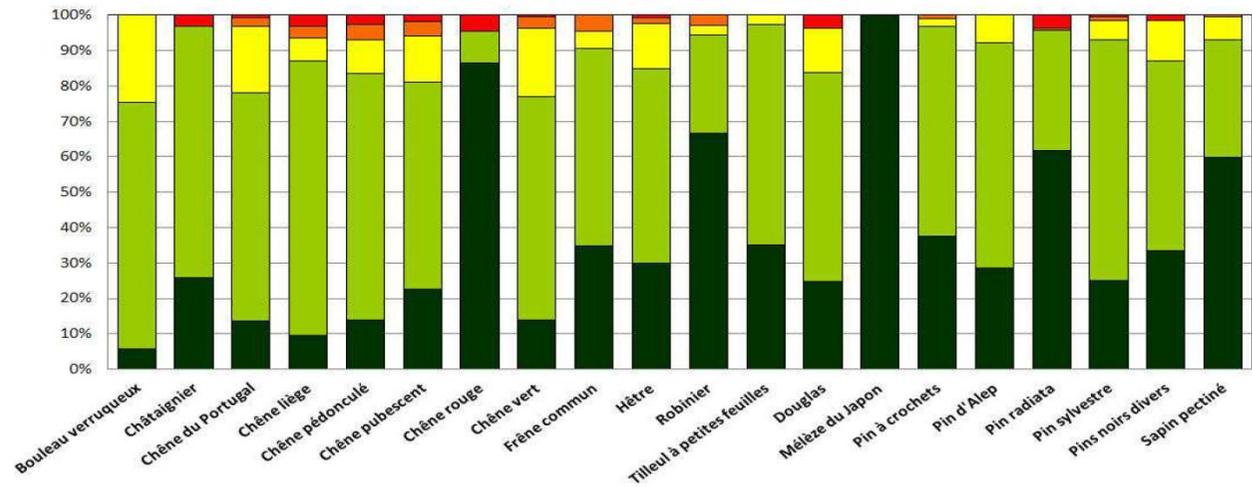


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2006

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

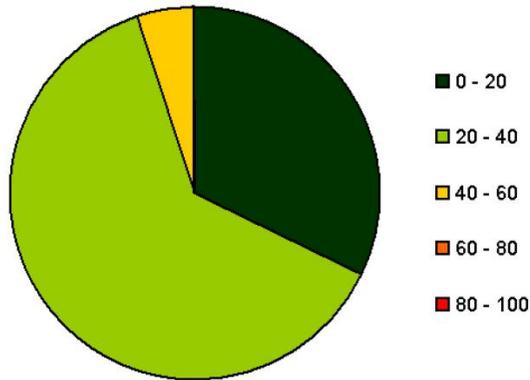


Répartition des classes de défoliation par essence.

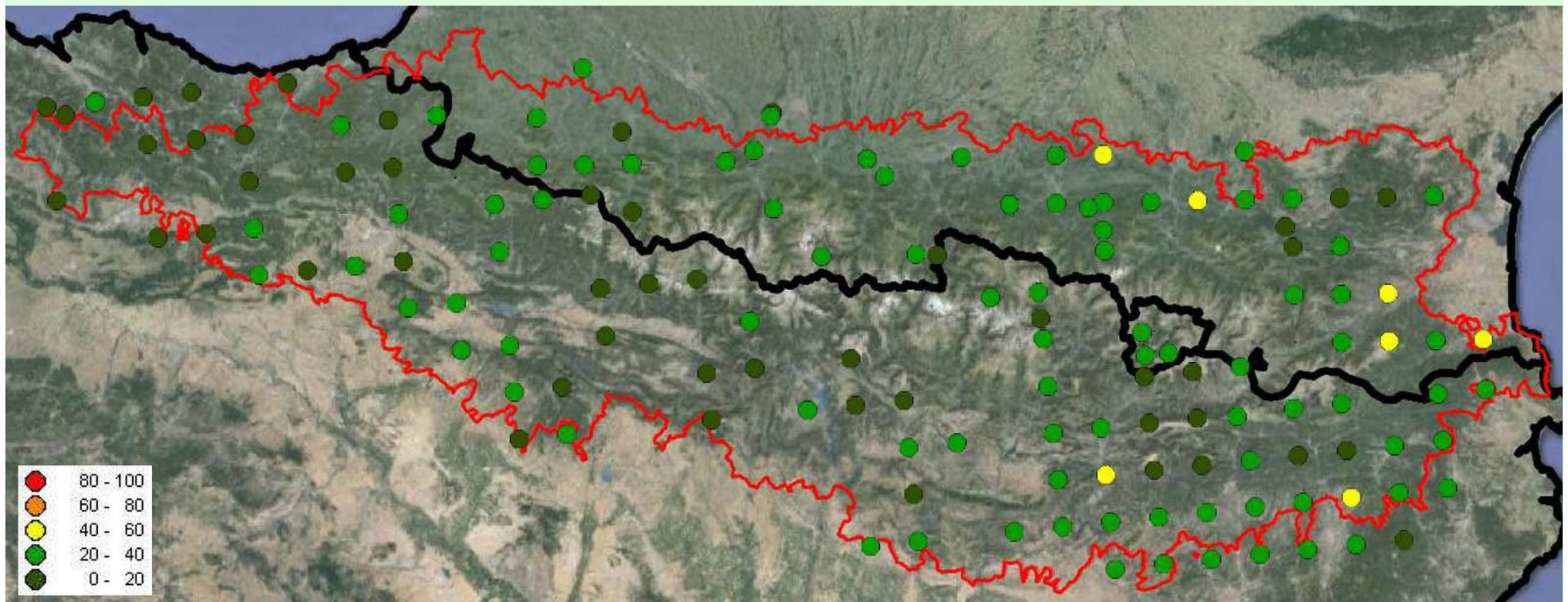
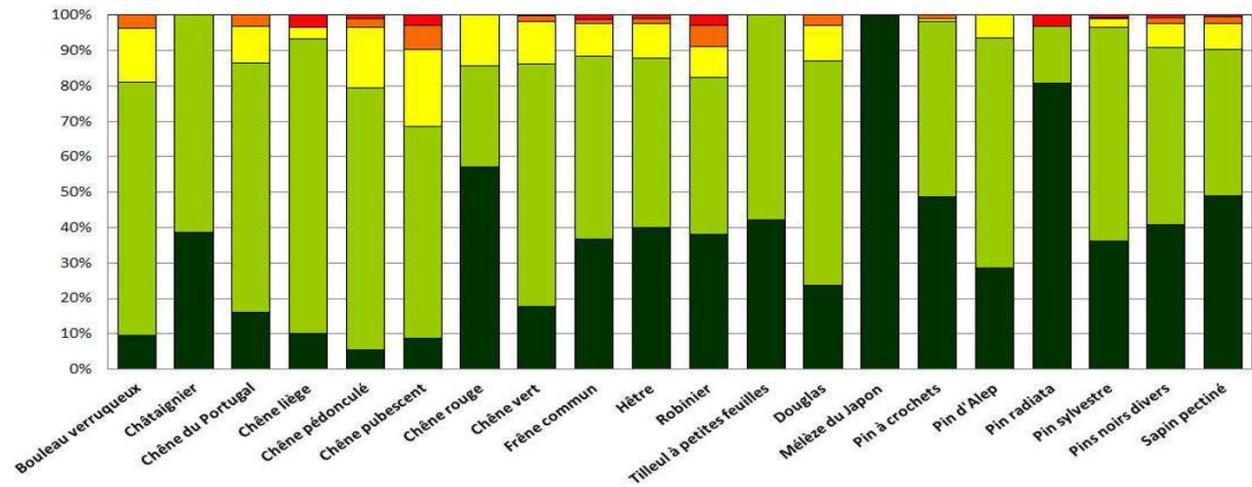


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2007

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

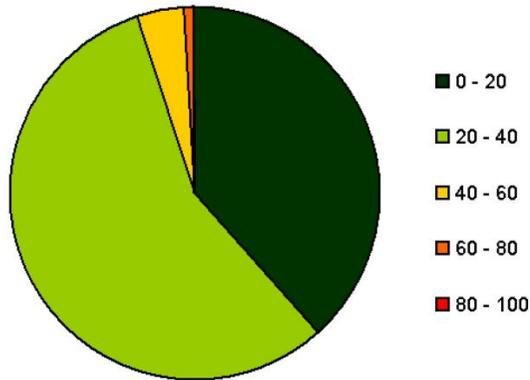


Répartition des classes de défoliation par essence.

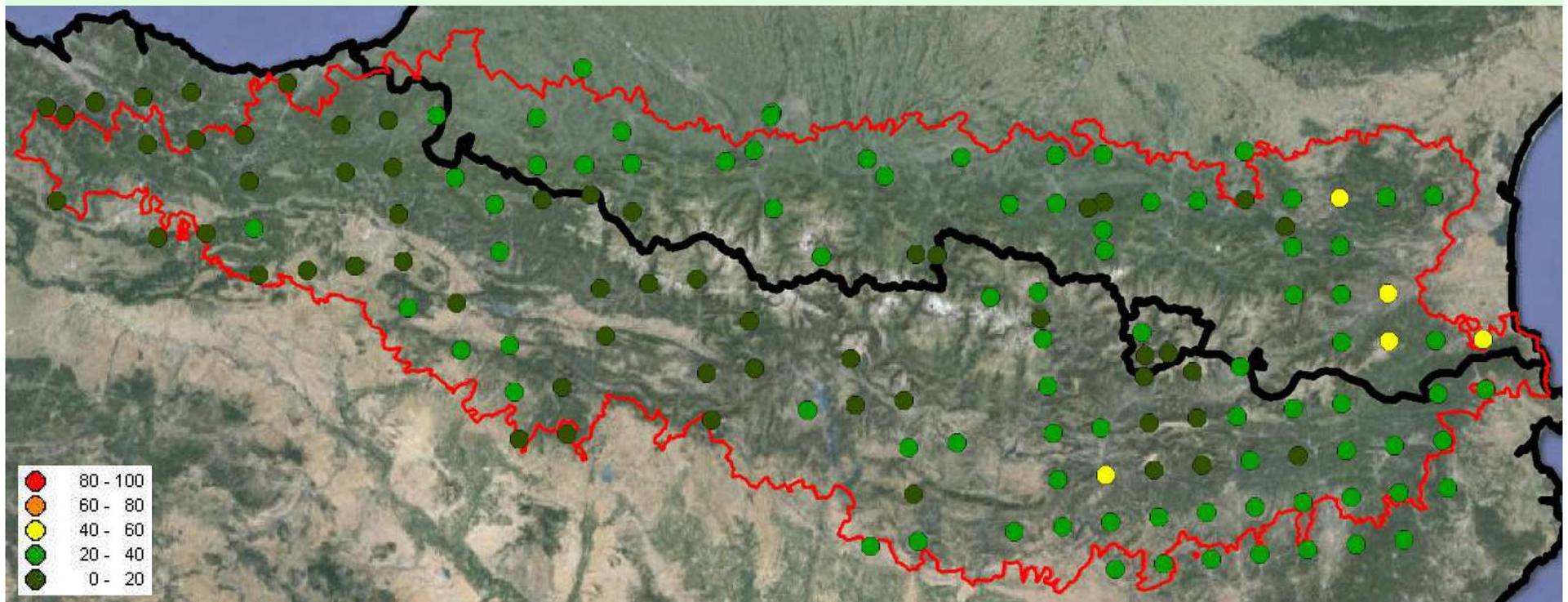
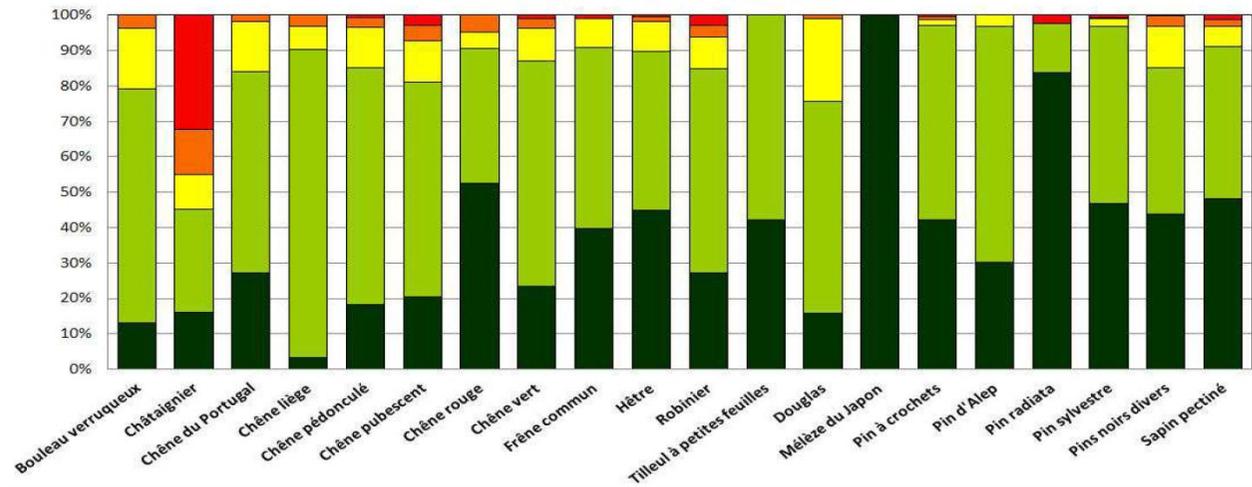


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2008

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

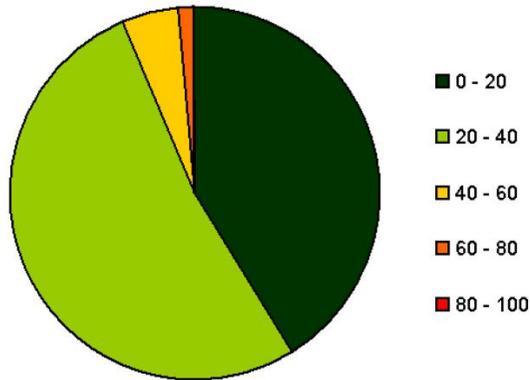


Répartition des classes de défoliation par essence.

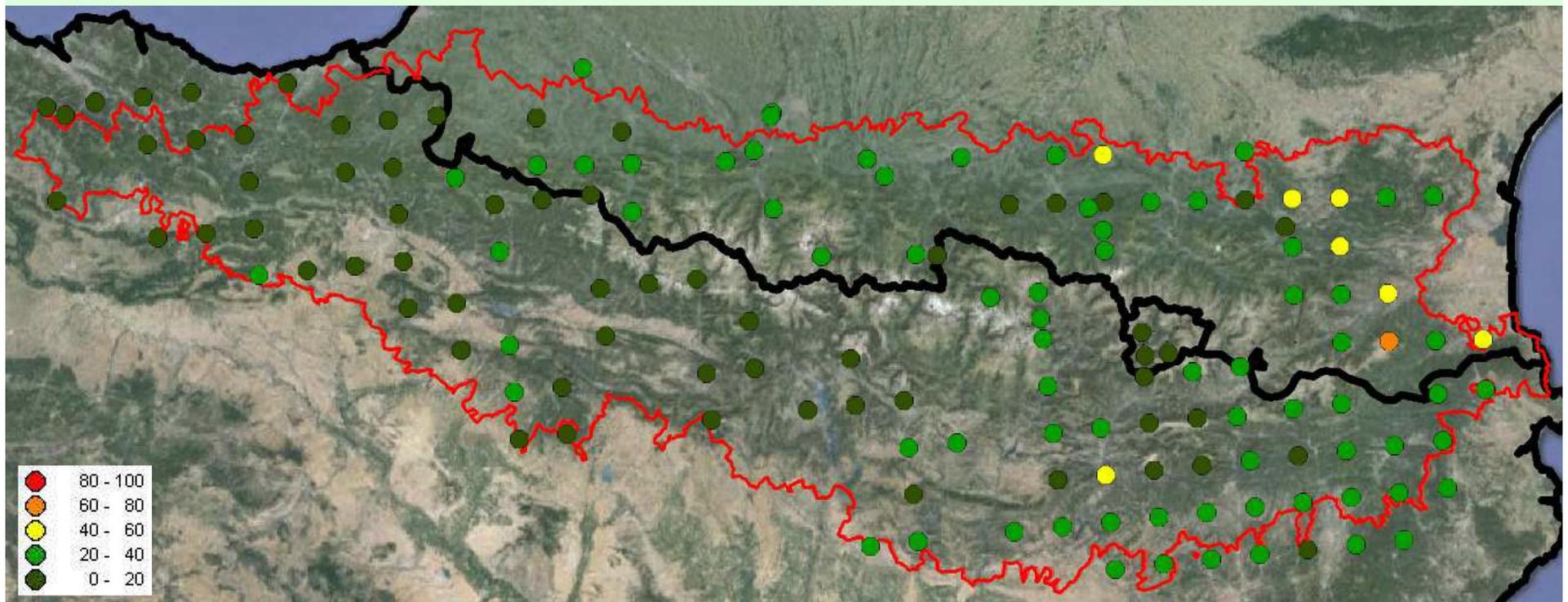
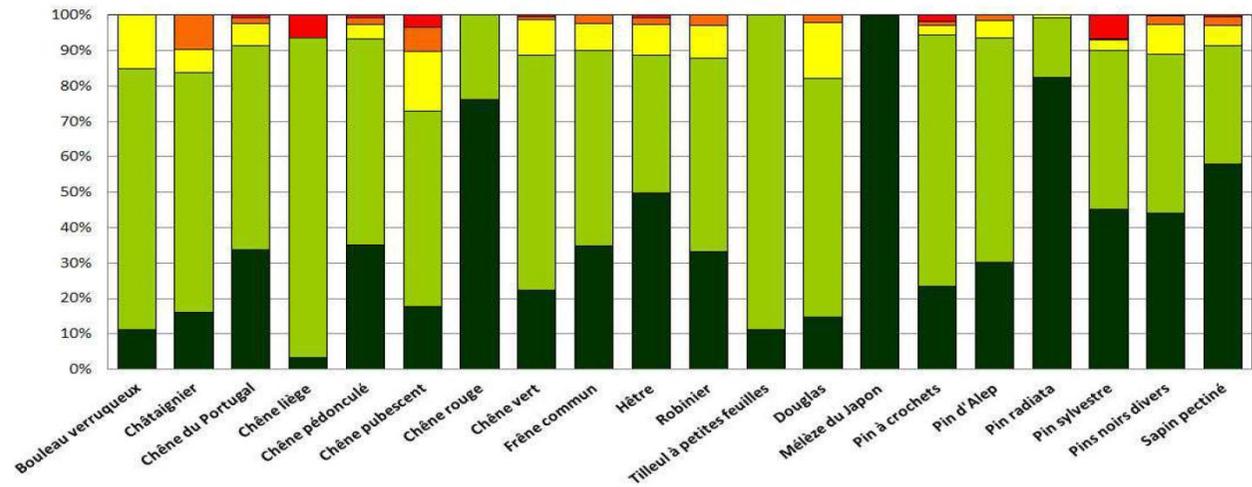


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2009

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

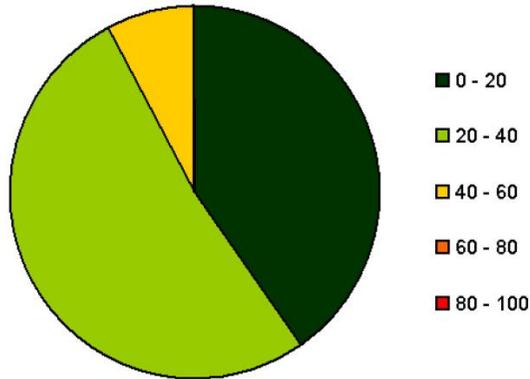


Répartition des classes de défoliation par essence.

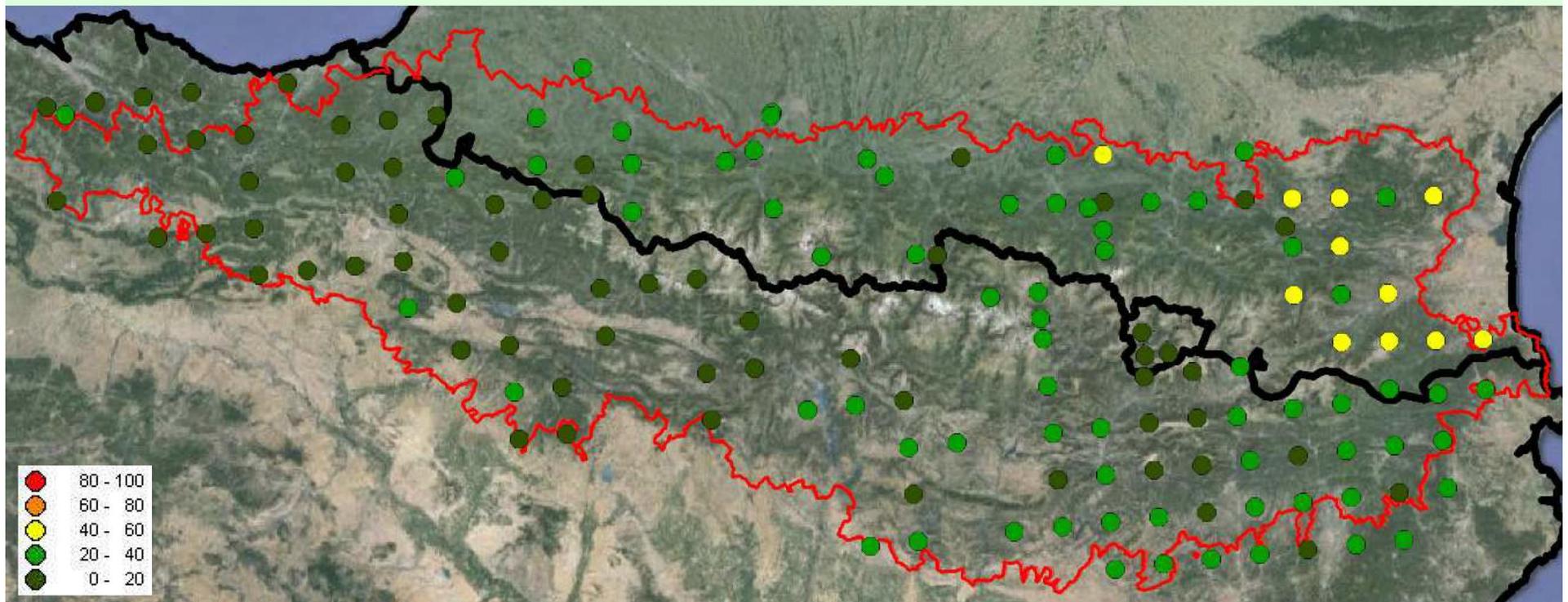
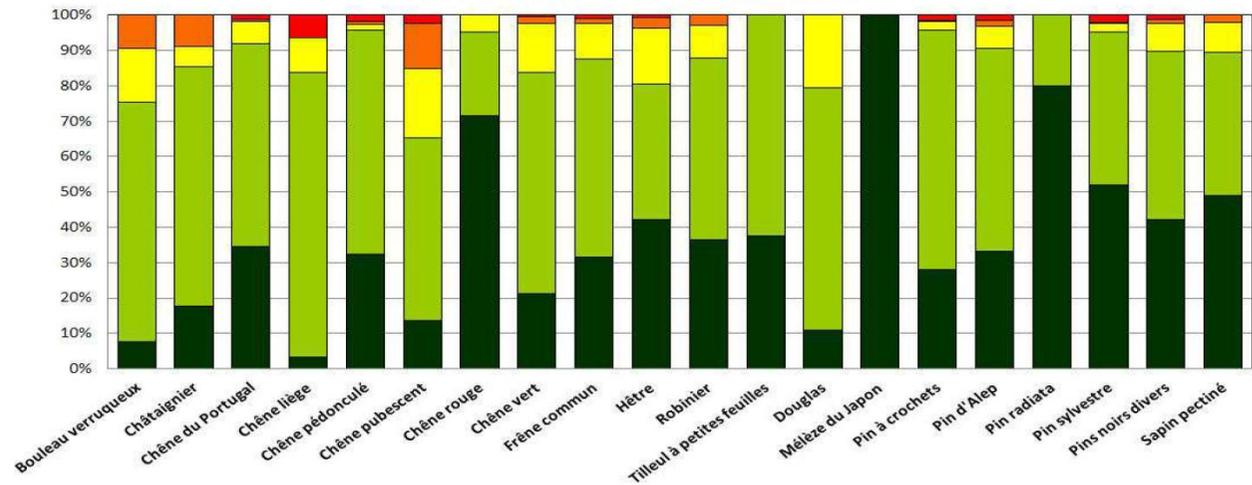


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2010

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

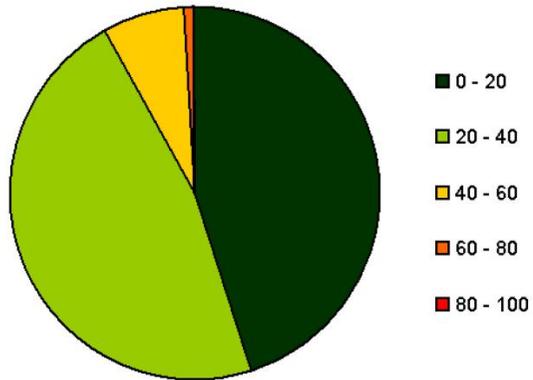


Répartition des classes de défoliation par essence.

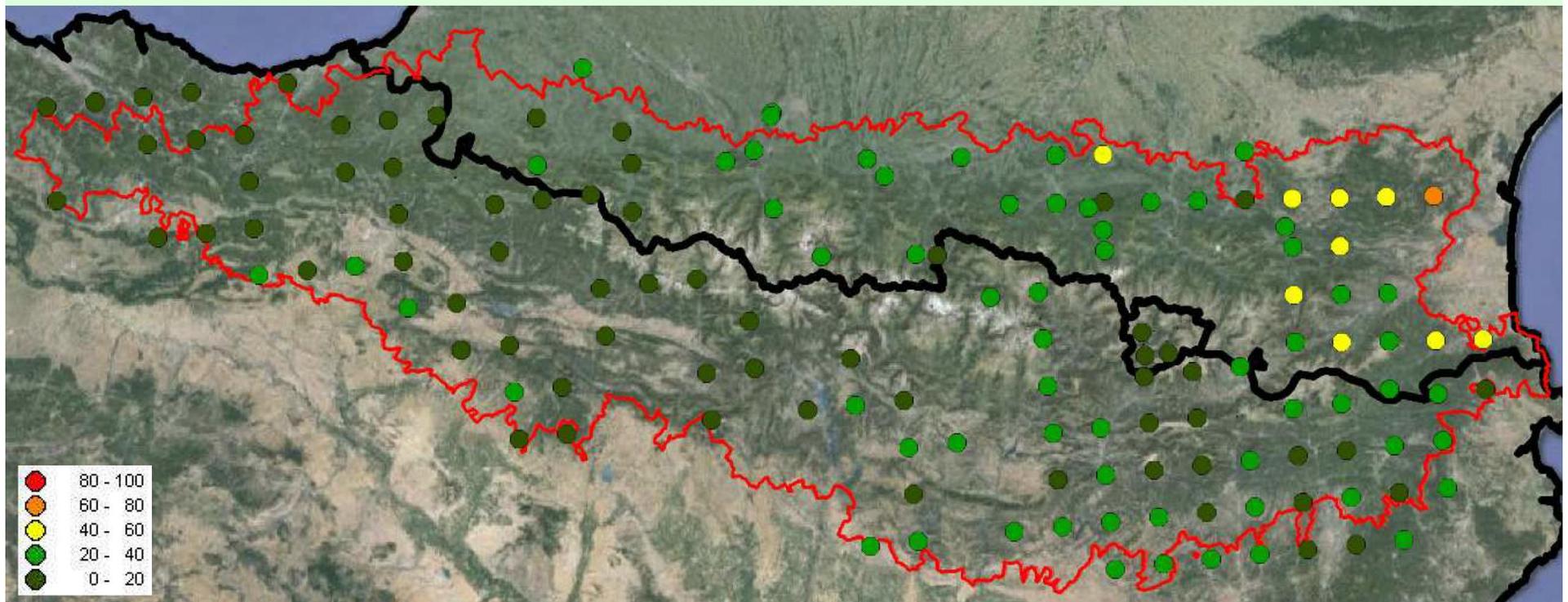
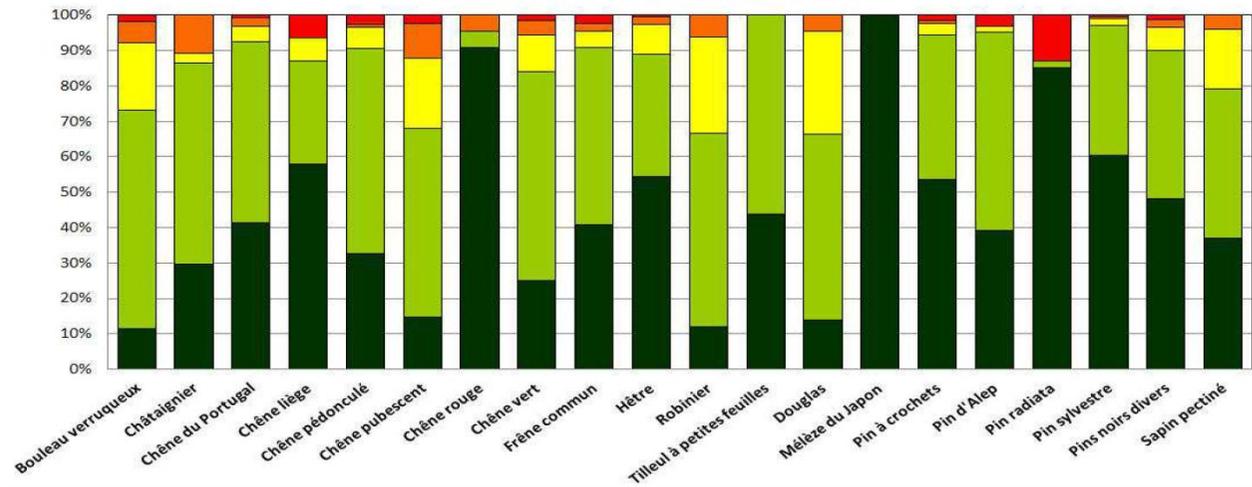


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2011

Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.

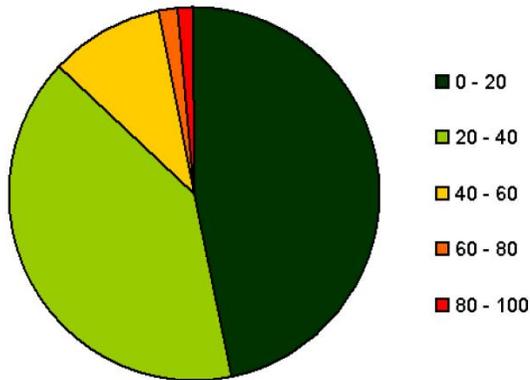


Répartition des classes de défoliation par essence.

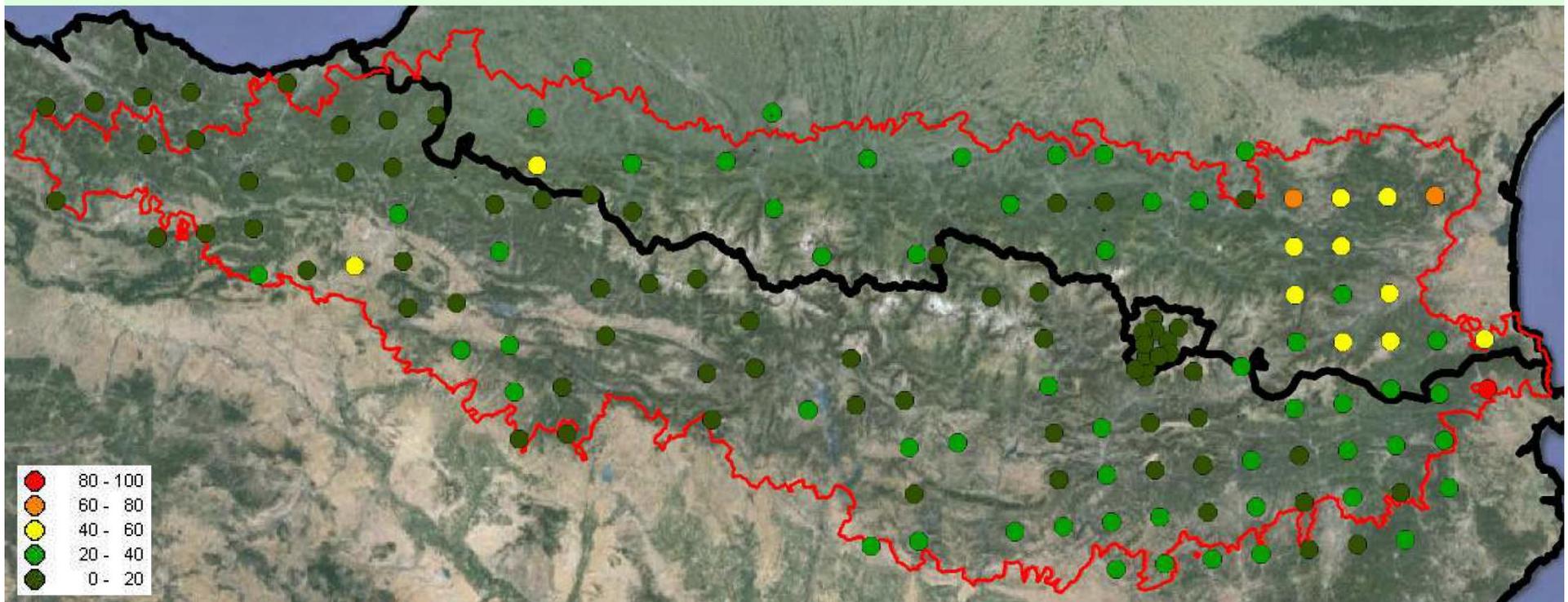
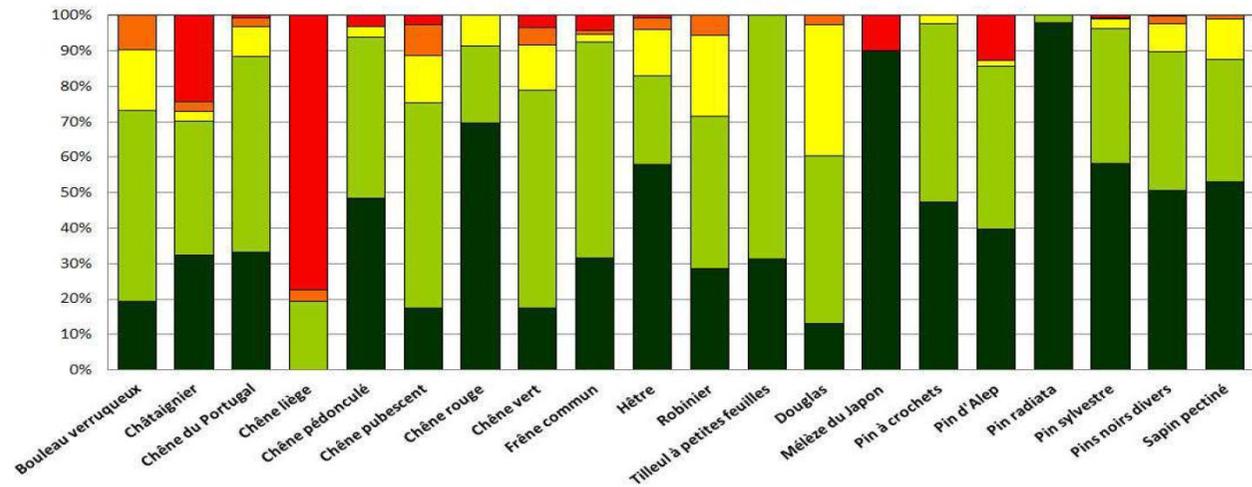


Déficit Foliaire des placettes DSF – Année 2012

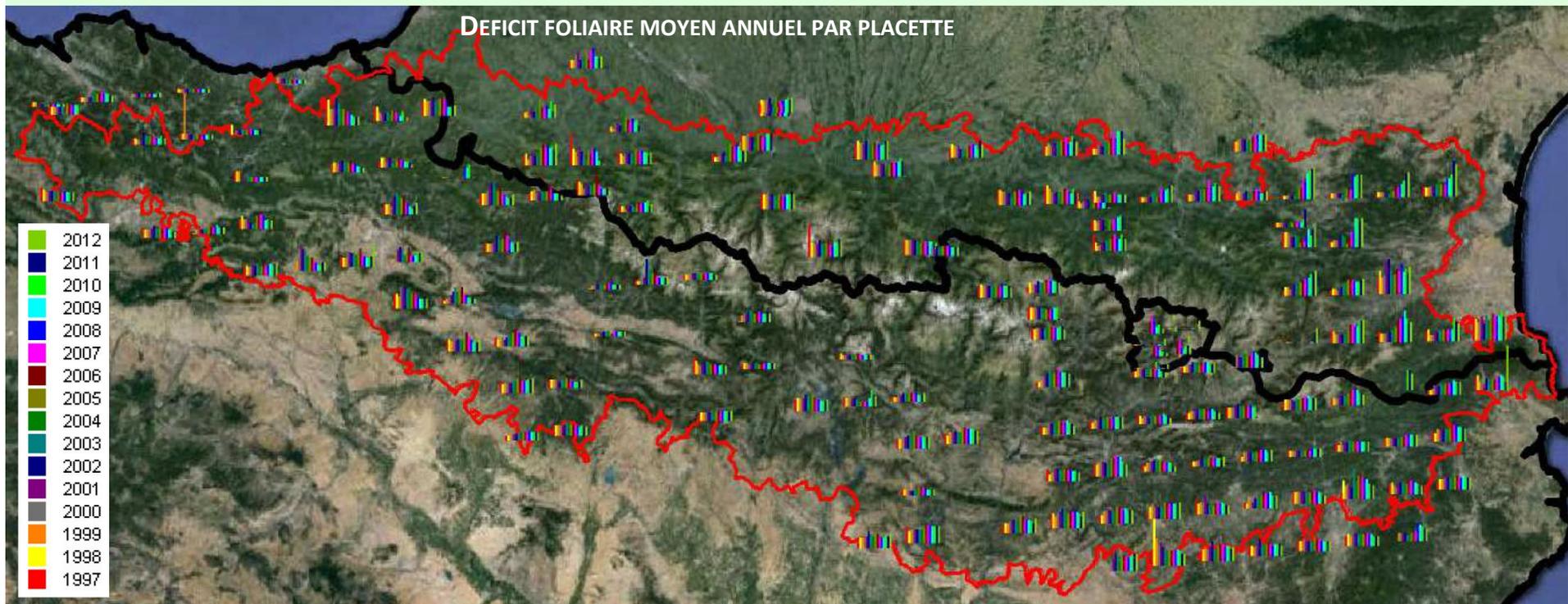
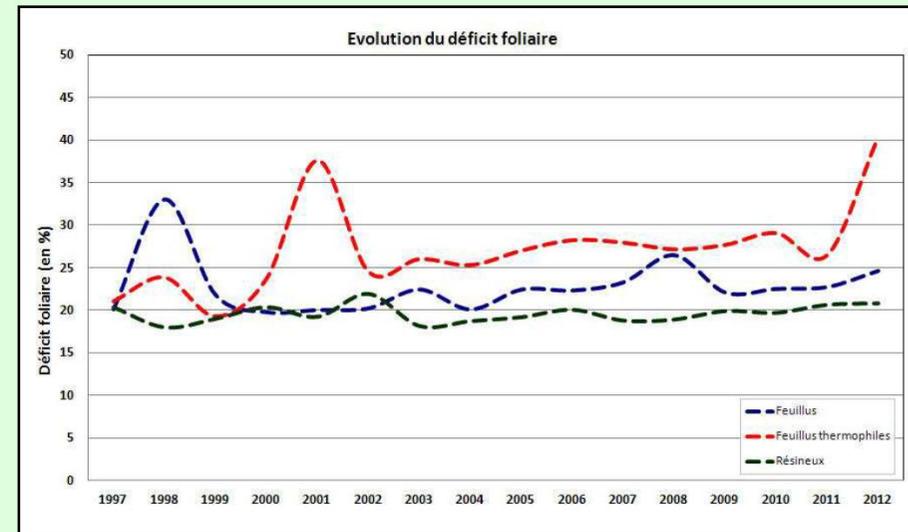
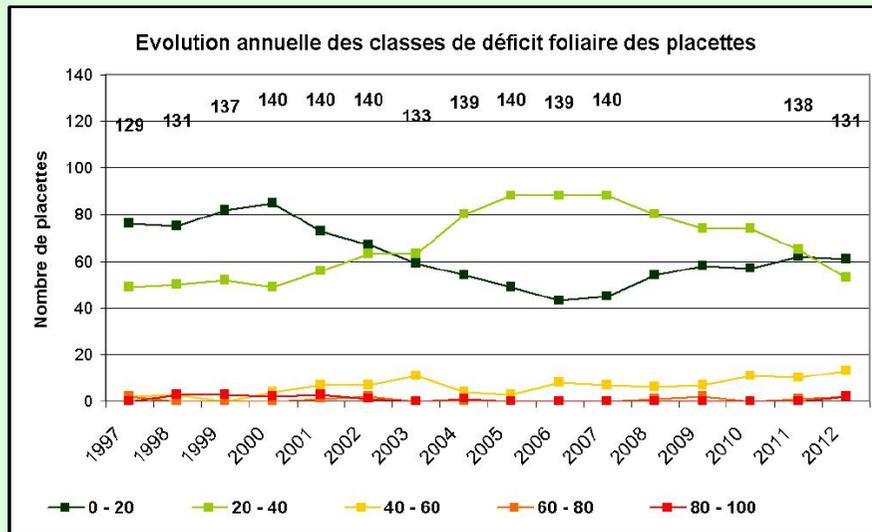
Répartition des placettes pyrénéennes en fonction de leur classe de déficit foliaire.



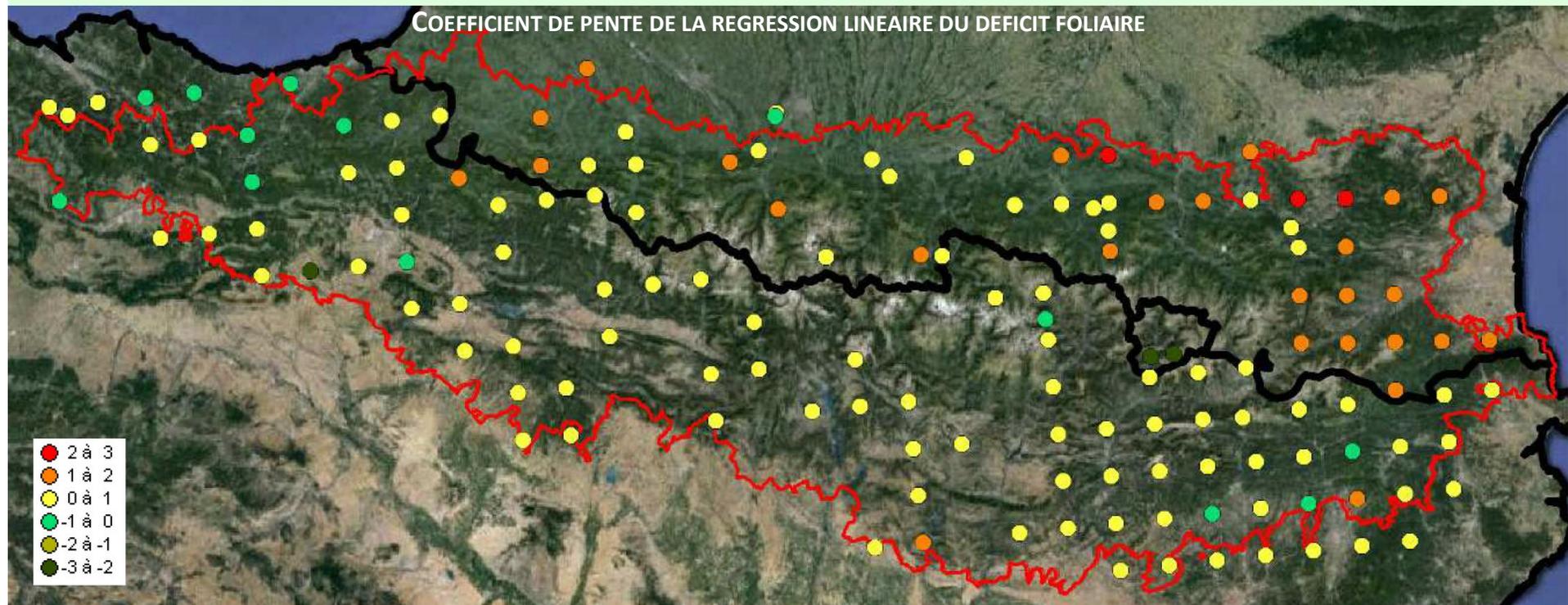
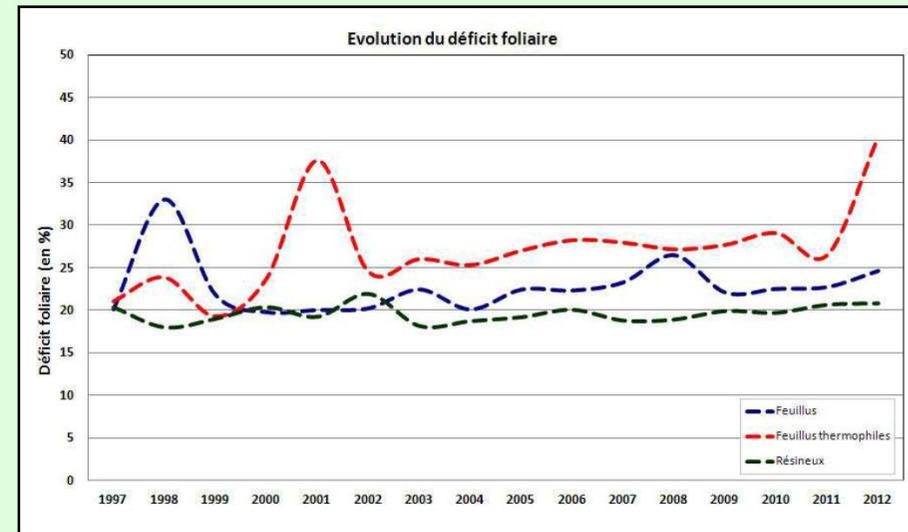
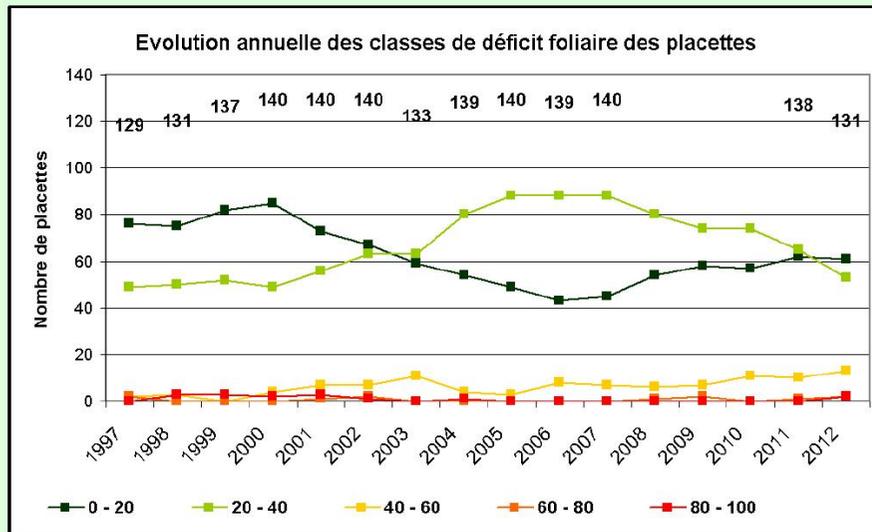
Répartition des classes de défoliation par essence.



Déficit Foliaire des placettes DSF – Tendence évolution

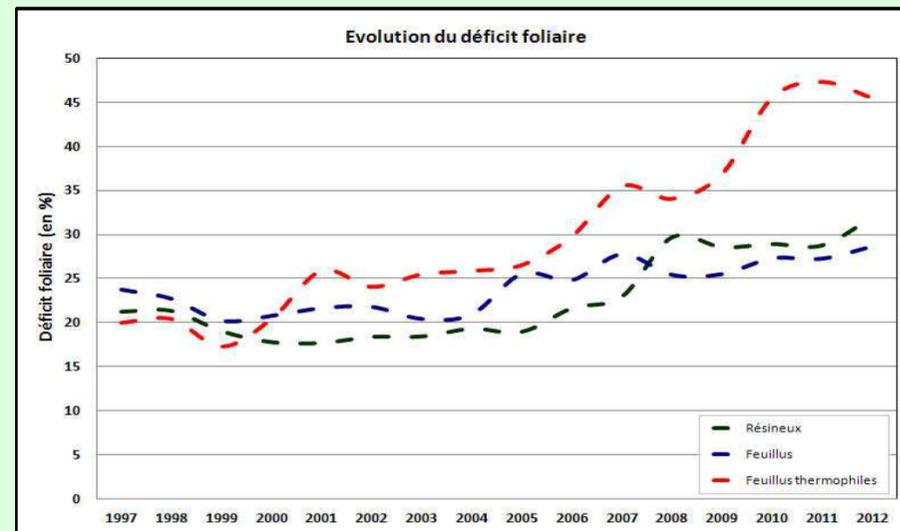
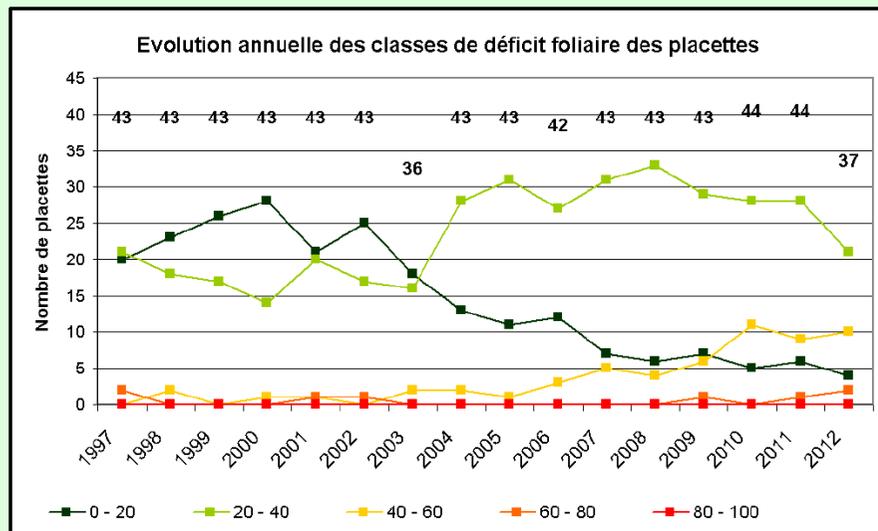


Déficit Foliaire des placettes DSF – Tendence évolution

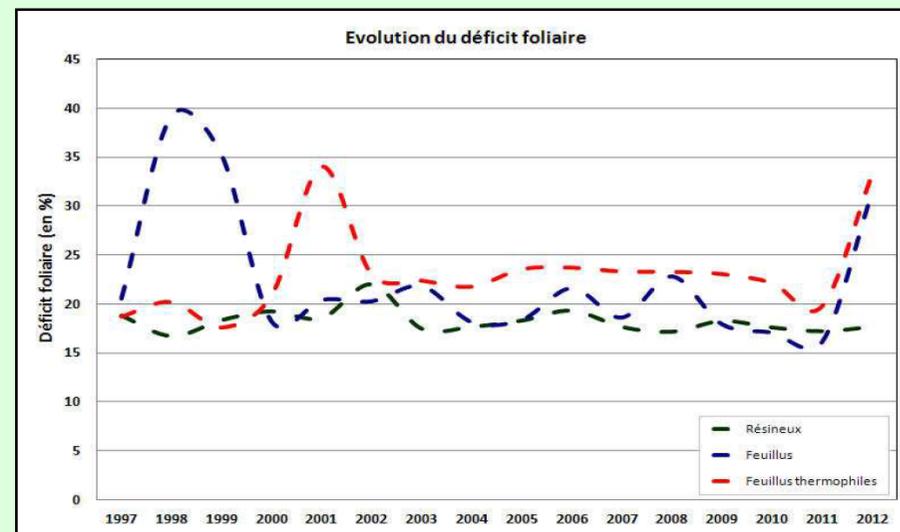
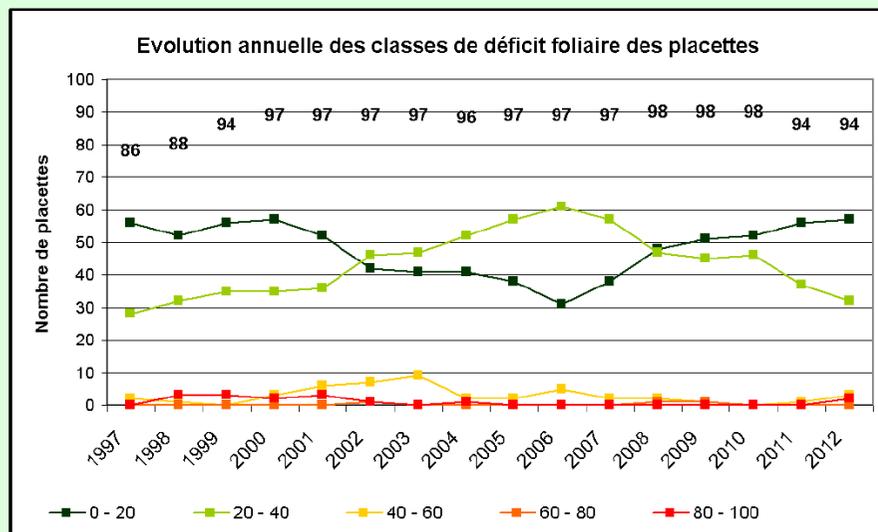


Déficit Foliaire des placettes DSF – Tendance évolution

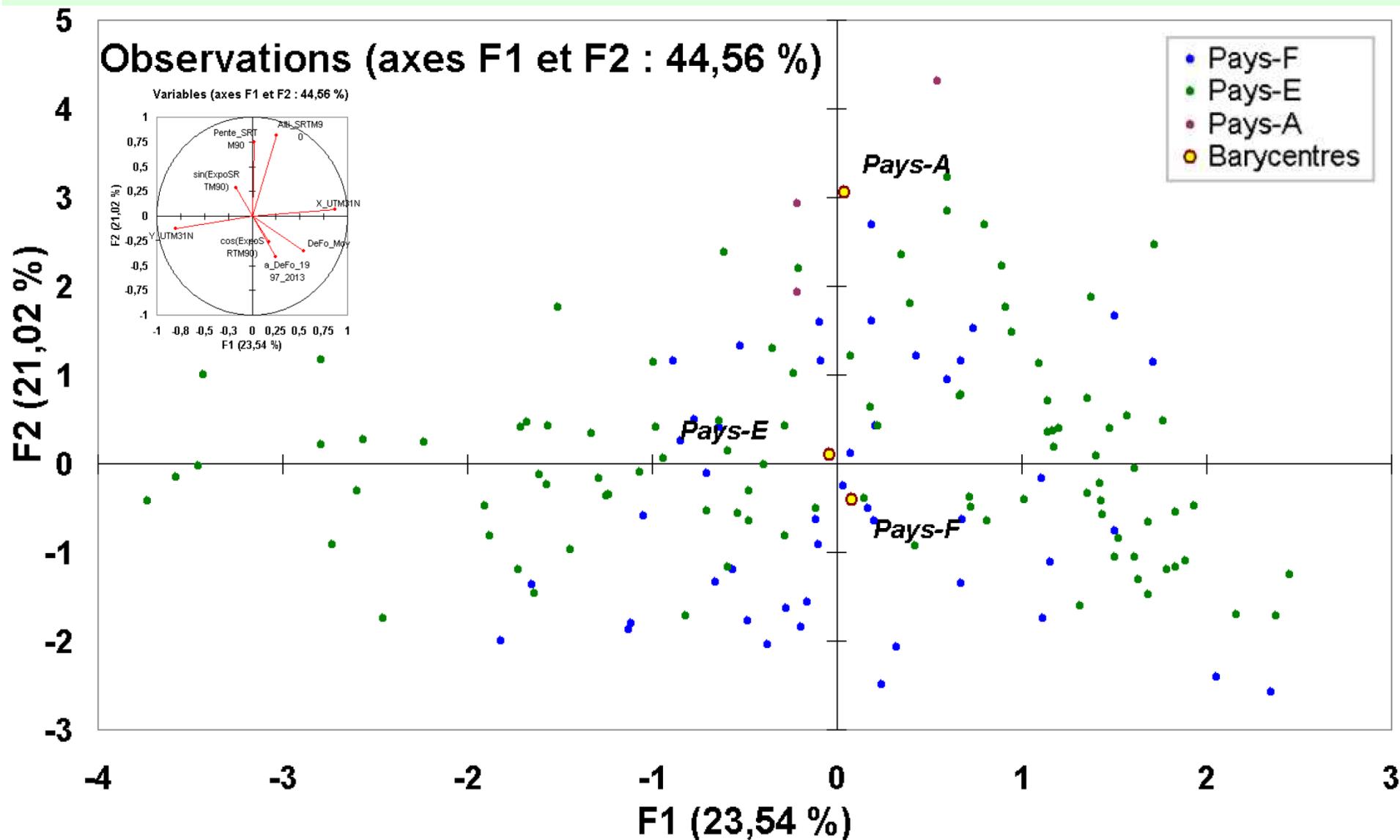
France



Espagne



Déficit Foliaire des placettes DSF – Tendence évolution



Certaines tendances peuvent être observées à partir de ces données. A la vue des résultats présentés, il semblerait que le déficit foliaire tende vers une augmentation au fil des ans. Cela semble d'autant plus vrai pour le versant français, globalement orienté vers le Nord. En effet les résultats globaux semblent mettre en évidence deux périodes distinctes : avant 2003 et après 2003. Rappelons que cette année est particulière en raison de la canicule qui a sévi sur l'Europe au cours de l'été. Cette date semble une charnière importante car, avant, les placettes avec 0 à 20 % de déficit foliaire dominaient, alors qu'après a été constaté une forte augmentation des placettes classées entre 20 et 40 % de déficit foliaire ; elles sont devenues majoritaires.

Une légère amélioration de l'état sanitaire des arbres semble cependant être en cours depuis 2011 à l'échelle globale des Pyrénées, mais cela cache des disparités régionales. Si cette amélioration semble réelle en Espagne et durable depuis 2008, il en est tout autrement pour les placettes françaises qui tendent vers une dégradation continue. Pour les placettes françaises, il semble même possible de distinguer trois périodes différentes : avant 2003 avec une majorité de placettes peu dépérissantes ; entre 2004 et 2009 incluses, avec une dominance des placettes présentant entre 20 et 40 % de déficit foliaire ; puis après 2009 où le nombre de placette entre 40 et 60 % de déficit foliaire devient significatif et en constante augmentation. En y regardant de plus près, les cartes mettent en évidence que ce sont les placettes méditerranéennes qui semblent les plus touchées. La tendance depuis 1997 y paraît très clairement à la hausse. A l'opposée de la chaîne pyrénéenne, les placettes à tendance océanique semblent relativement épargnées.

Concernant les essences, toutes ne réagissent pas de la même manière au fil des ans. En France, depuis 2003, une légère augmentation du déficit foliaire moyen semble générale (cf. page 82). Elle semble toutefois plus marquée pour les feuillus dits thermophiles (chêne vert, chêne-liège, chêne pubescent...) ; leur taux de déficit foliaire a presque doublé entre 2003 et 2012, passant de 25 % à 45 %. Cette augmentation plus forte du déficit foliaire pour ces feuillus pourtant thermophiles semble également corroborée dans d'autres publications, aussi surprenant que cela puisse paraître. Cela dit ces essences occupent déjà les stations les plus ingrates et sont ainsi en limite de leur aire de distribution, d'où une possible explication à ces dépérissements. Quant aux autres feuillus et résineux, l'augmentation du déficit foliaire est moindre : passage de 20 à 30 % de déficit foliaire entre 2003 et 2012.

Là encore des divergences s'observent entre les versants français et espagnols. Les deux graphiques suivants présentent l'évolution du déficit foliaire par essence depuis 1997. Il faut noter que les essences trop peu échantillonnées (moins de 12 arbres observés annuellement) ont été exclues, de manière à ne garder que des tendances représentatives.

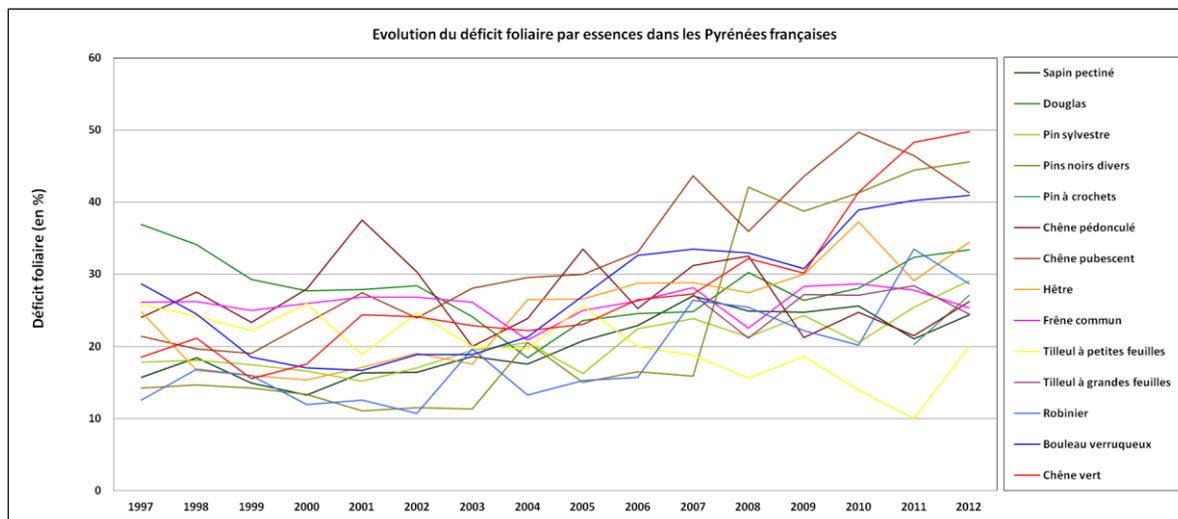


Figure 18

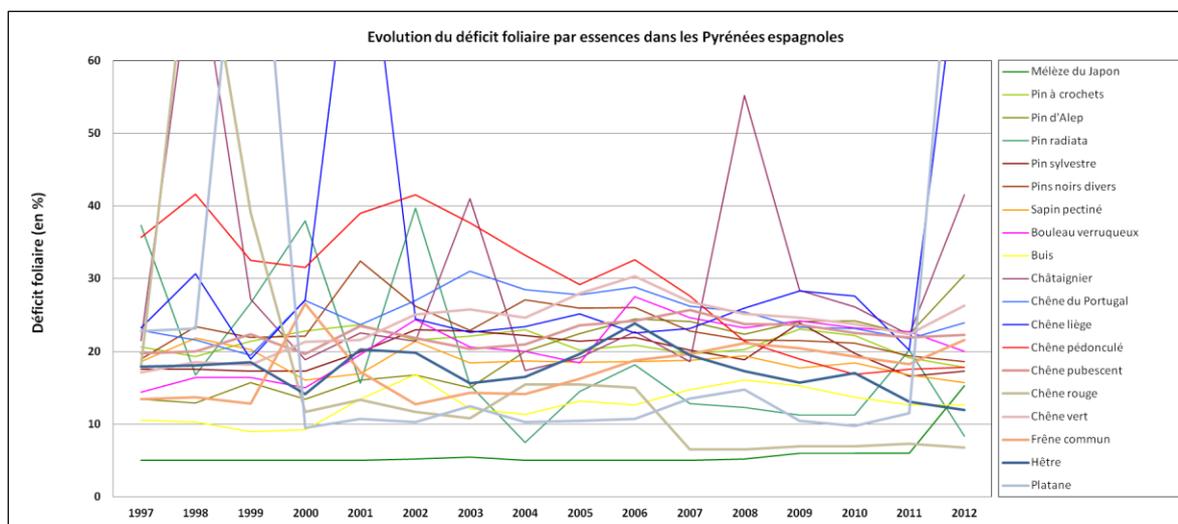


Figure 19

A la vue de ces graphiques, il est important de mettre en avant la variabilité interannuelle pour une essence donnée, avec l'existence de certains pics, notamment au sein des données espagnoles. Si la tendance à l'augmentation du déficit foliaire se retrouve pour bon nombre d'essences sur le versant français, aucune tendance significative ne semble transparaître des données du versant espagnol.

La figure 20 ci-dessous vient renforcer la lisibilité des graphiques 18 et 19. Elle représente, essence par essence, la valeur du coefficient de pente de la régression linéaire sur les courbes de déficit foliaire des figures 18 et 19. Il est ainsi facile de distinguer les tendances à l'augmentation du déficit foliaire (valeurs positives) des tendances à la diminution du déficit foliaire (valeurs négatives).

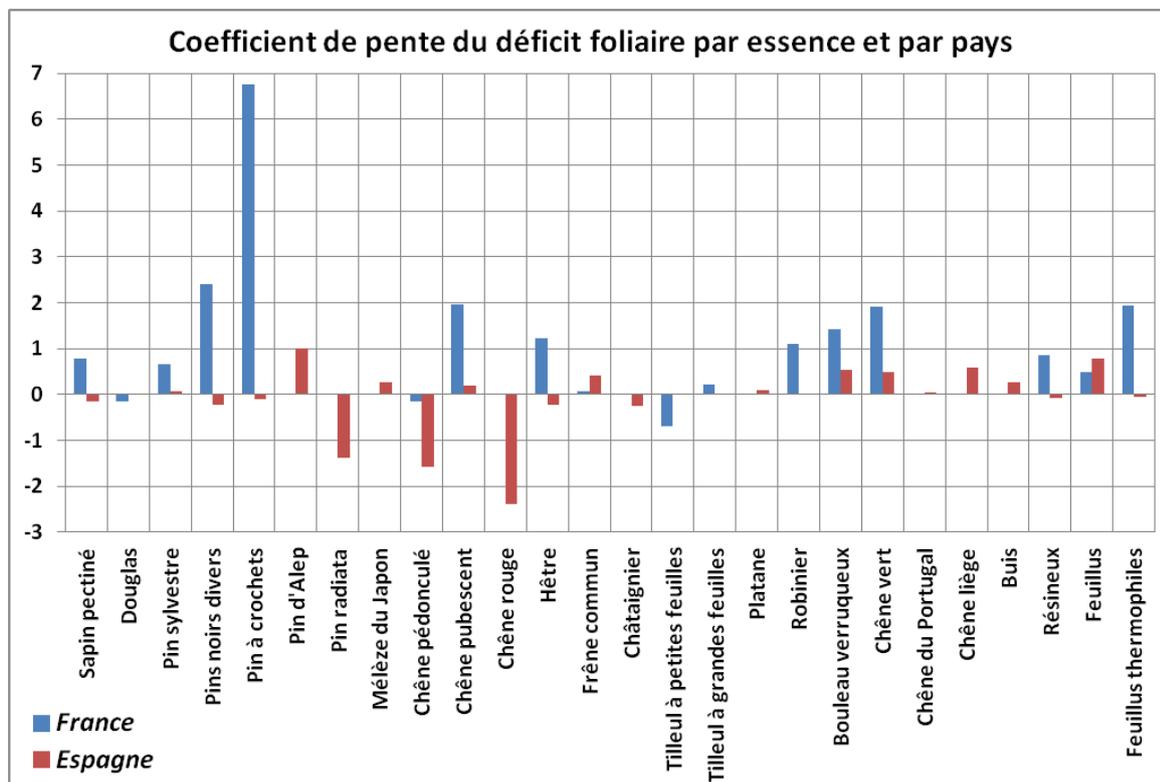


Figure 20

Au travers de cette figure, la différence entre les versants français et espagnols est flagrante. L'augmentation du déficit foliaire semble importante pour plusieurs essences en France, notamment le chêne vert, le chêne pubescent, le hêtre, le robinier, le bouleau verruqueux ou encore les pins sylvestres et surtout les pins à crochets qui semblent particulièrement impactés. A l'inverse, en Espagne, seul le pin d'Alep suit la même tendance et plusieurs essences semblent avoir une diminution de leur déficit foliaire, tels que le pin radiata, le chêne pédonculé et le chêne rouge. A contrario, en France, aucune tendance significative à l'amélioration ne semble se dégager. Pour nombre d'essences, l'évolution est stable (valeurs proche de 0) ou peu marquée (sapin pectiné, pin sylvestre et tilleul à petites feuilles en France ; bouleau verruqueux, chêne vert et chêne liège en Espagne).

Pour tenter d'expliquer les différences d'évolution du déficit foliaire sur la Chaîne des Pyrénées, une analyse en composantes principales a été menée (résultat présenté page 83). L'objectif d'une telle analyse est d'observer des corrélations entre les paramètres d'entrée. Chaque placette du réseau de suivi sanitaire a ainsi été décrite au travers de plusieurs paramètres :

- longitude,
- latitude,
- altitude,
- pente topographique,
- exposition décomposée en deux axes Nord-Sud : $\sin(\text{exposition})$ et Est-Ouest : $\cos(\text{exposition})$,
- déficit foliaire moyen entre 1997 et 2012,
- coefficient de pente de la régression linéaire du déficit foliaire entre 1997 et 2012.

L'analyse a permis de positionner chaque placette au sein d'un graphique dont les deux axes F1 et F2 expliquent 44,56 % de la variabilité des données. Le cercle des corrélations liées à ce graphique

explique la dispersion des points. Si les barycentres des points espagnols et français sont relativement proches de zéro, les points andorrans se distinguent par leur séparation sur l'axe F2 qui est fortement relié à la pente et à l'altitude. Les placettes andorranes sont en effet à des altitudes élevées et sur des pentes marquées.

En outre, plusieurs autres facteurs semblent corrélés et expliquer la dispersion des placettes au sein de ce graphique. Premièrement, le déficit foliaire moyen et le coefficient de pente du déficit foliaire sur la période 1997 et 2012 semblent aller dans le même sens, ce qui n'est pas une surprise. En revanche, ces paramètres semblent également corrélés aux variables d'exposition. Si le cosinus de l'exposition va dans le même sens que les variables de déficit foliaire, le sinus de l'exposition est lui opposé à ces mêmes variables, ce dont on peut tirer plusieurs conclusions :

- Plus le sinus de l'exposition augmente (exposition Nord plus marquée), moindres sont les valeurs de déficit foliaire et inversement pour les expositions sud prononcées, le déficit foliaire augmente.
- De même, plus le cosinus de l'exposition est élevé (exposition Est marquée), plus les valeurs de déficit foliaire sont également élevées et inversement pour les expositions ouest aux valeurs faibles de déficit foliaire.

Le cercle des corrélations montre également une opposition, certes moins marquée, entre l'altitude et la pente de déficit foliaire, ce qui traduit que pour les altitudes les plus élevées, l'augmentation du déficit foliaire est moindre. Enfin, la longitude est légèrement corrélée aux variables de déficit foliaire. Ainsi, lorsque les valeurs de longitude sont élevées (tendance méditerranéenne), le déficit foliaire semble plus important.

Au final, si l'on résume les différents résultats obtenus, il semblerait *a priori* que le changement climatique (au travers de l'évolution du déficit foliaire) ait plus d'impact :

- à l'Est de la chaîne, à tendance méditerranéenne,
- à faible altitude, du moins pour le moment,
- en exposition Sud et Est,
- en France,
- pour les feuillus dits thermophiles (chênes pubescent, chêne vert et chêne liège...), notamment sur stations difficiles à tendance méditerranéenne, et pour les pins à crochets et noirs.

6.2 – Données complémentaires

Concernant l'aspect sanitaire, aucune donnée complémentaire n'est venue compléter l'échantillonnage déjà bien représentatif des écosystèmes forestiers pyrénéens.

6.3 – Lien avec la télédétection

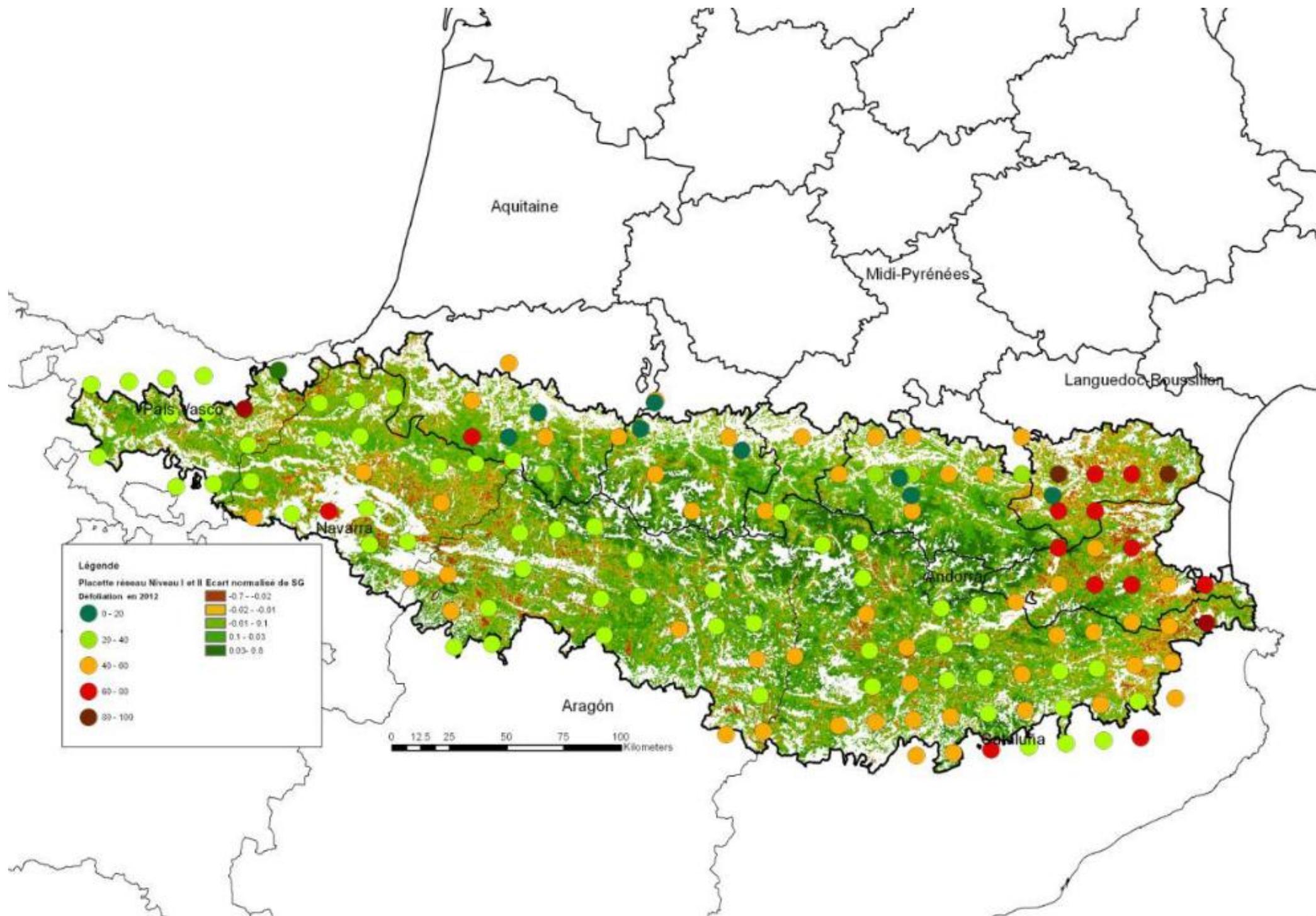
L'important historique et la représentativité des données du réseau de suivi sanitaire a conduit à envisager une approche combinant les résultats valorisables au travers de ce réseau avec les méthodes d'observation satellite de la télédétection.

Mené par l'école d'Ingénieurs de Purpan, le travail a consisté à rechercher une corrélation entre les résultats du réseau de suivi et leurs analyses de vitalités des peuplements (voir carte page 88). Leurs recherches les ont conduit à s'orienter vers l'écart normalisé de Spring Greenness qui selon eux

reflètent bien l'état sanitaire des peuplements. Une valeur négative traduit une perte de vitalité alors qu'une valeur positive révèle un bon état sanitaire des arbres.

En superposant les données des placettes du réseau en 2012 et leur carte de vitalité, des similitudes se dégagent. La zone méditerranéenne semble la plus atteinte avec de nombreuses zones en perte de vitalité selon l'analyse des images satellites. A la vue de la carte issue de la télédétection, la Navarre et l'Ouest de l'Aragon semblent, en 2012, également plus touchées que le reste de la chaîne des Pyrénées, ce qui semble confirmé par l'existence de quelques placettes présentant des déficits foliaires plus élevés.

Pour plus de détails et d'explications, il convient de se reporter aux résultats et rapports produits par les partenaires de la télédétection. En tout état de cause, la complémentarité des travaux a été recherchée entre les axes Forêts et Télédétection. Les données du réseau ont notamment été testées pour servir de calibration aux résultats de télédétection.



7.1 – Bilan des données des réseaux existants

Rares sont les données phénologiques régulières d'année en année sur un même lieu en forêt. D'autant plus en milieux montagneux à l'écart des concentrations de populations.

A l'échelle des Pyrénées françaises, seules les données du réseau RENECOFOR (niveau II du suivi des écosystèmes forestiers) bénéficient d'un historique de données homogénéisées. Sept placettes sont ainsi suivies avec des données remontant jusqu'en 1997. Parmi les essences ciblées dans l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique, le hêtre compte trois placettes d'observation, le sapin deux et le chêne pédonculé une. Une placette en douglas vient compléter les données disponibles.

Le protocole d'inventaire recherche les dates correspondant à deux seuils de débourrement : 10 % et 90 % de bourgeons débourrés. Les graphiques suivants présentent l'évolution des dates (jour de l'année civile) de ces deux stades de débournements de 1997 à 2011. Un premier constat s'impose. La variabilité interannuelle est importante avec des écarts parfois supérieurs à 1 mois pour le même peuplement. Au-delà de ça, aucune tendance significative ne semble se dégager dans l'évolution des dates de débournement de ces placettes pyrénéennes. Certaines placettes, notamment HET 64 et SP 09, voire SP 11, pourraient toutefois mettre en évidence un très léger retard dans le débournement ces dernières années. Ces données restent toutefois à confirmer et vont en partie à l'encontre des hypothèses d'allongement de la saison de végétation régulièrement évoquées.

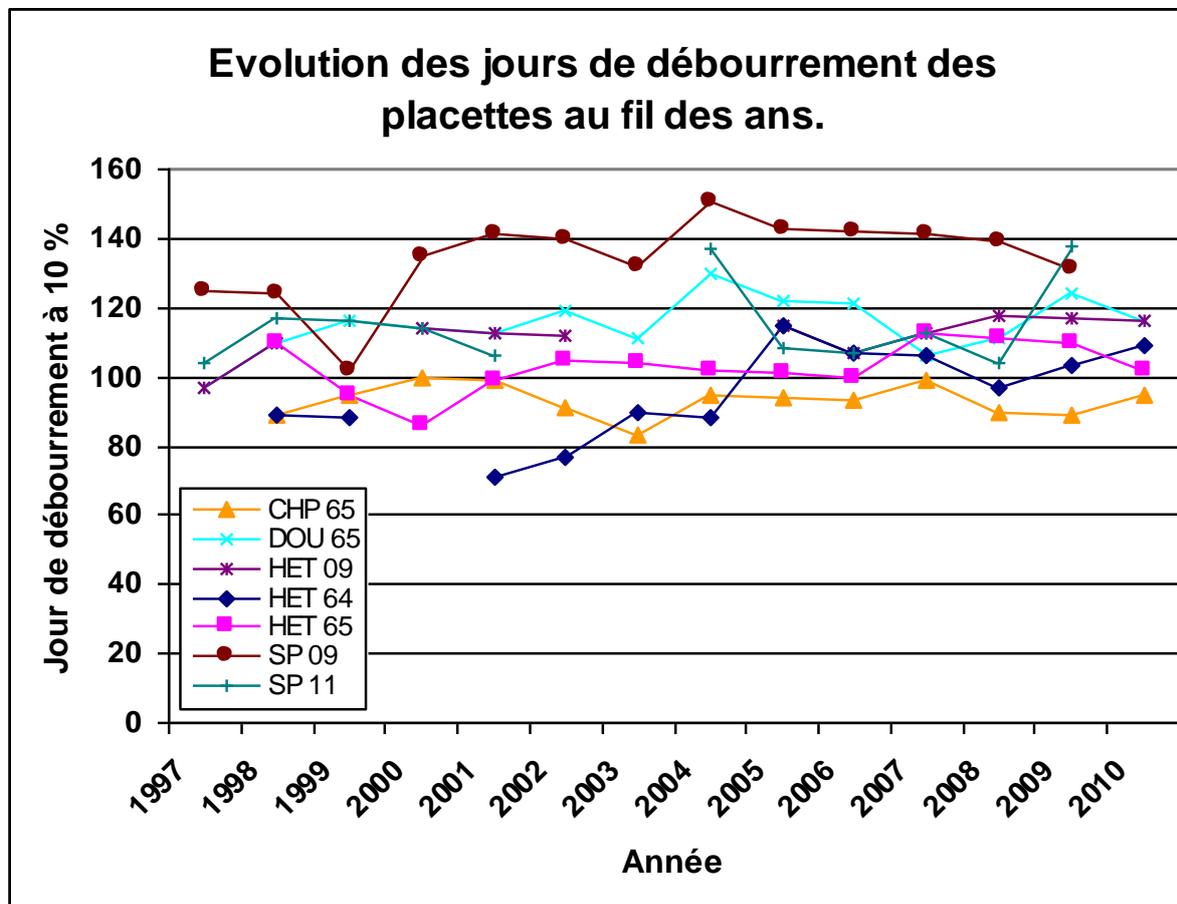


Figure 21

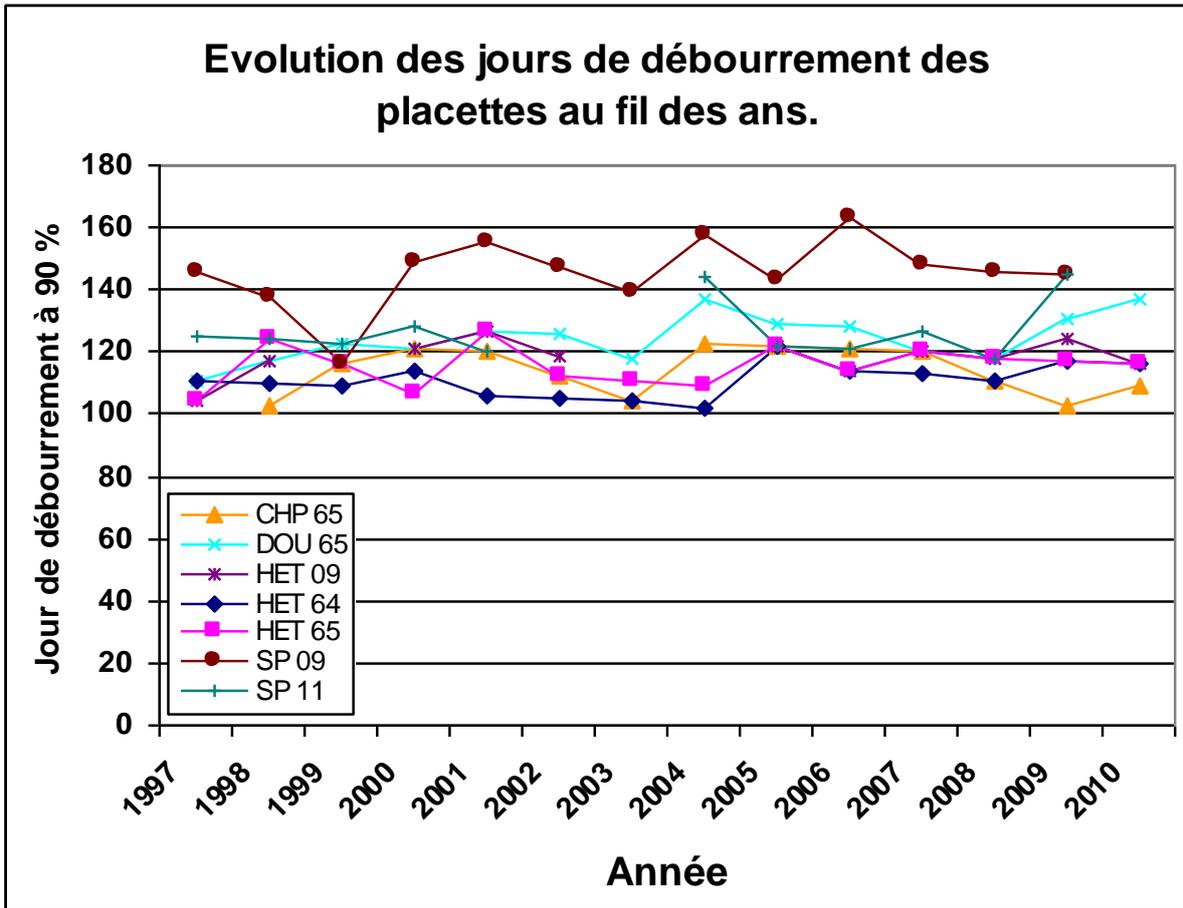
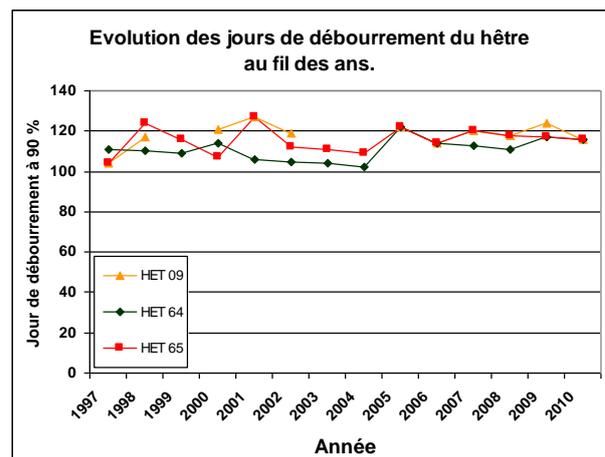
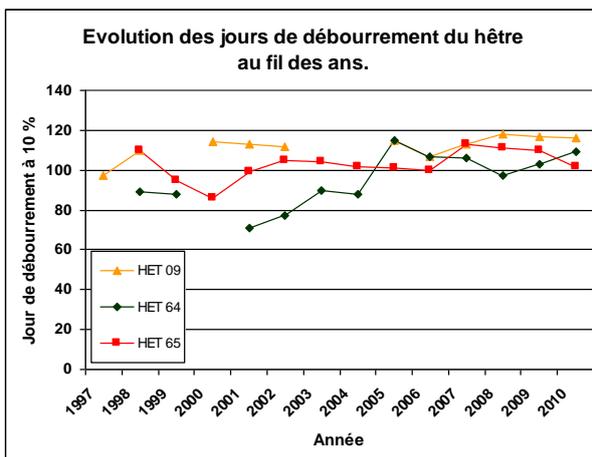
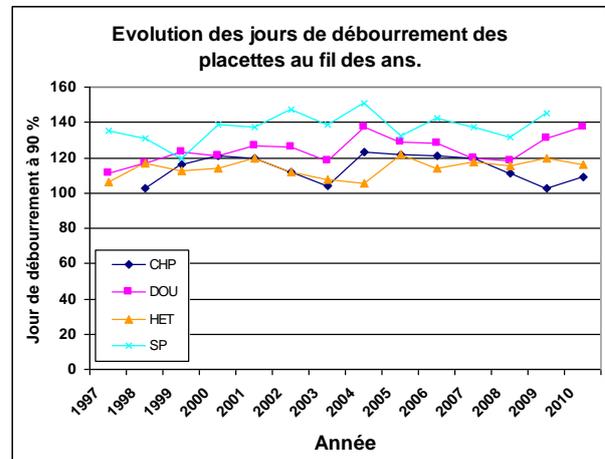
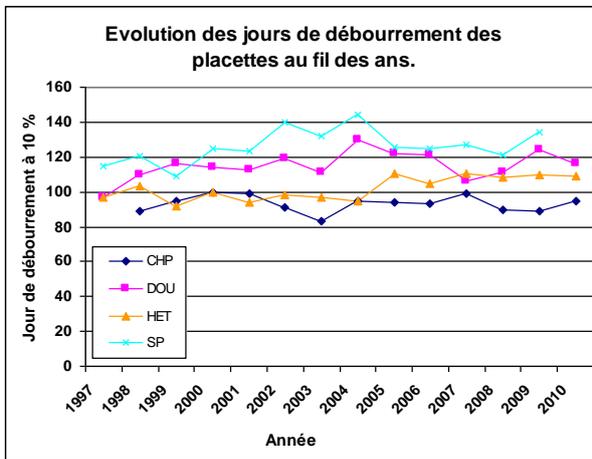
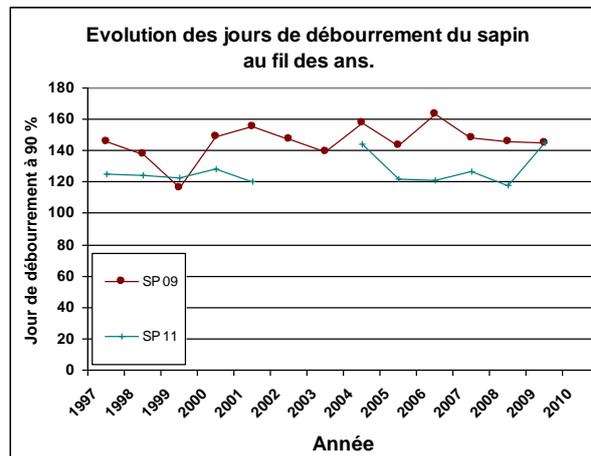
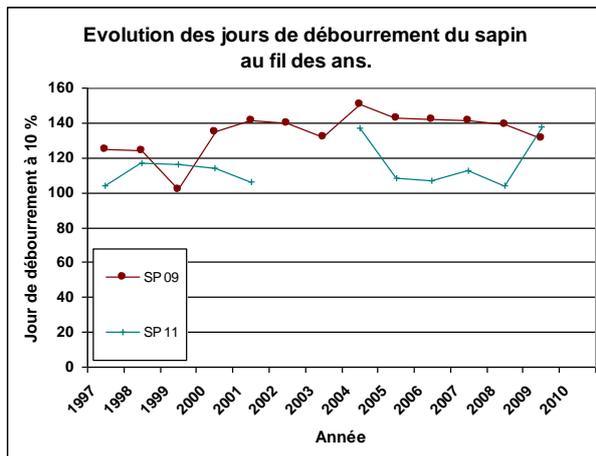


Figure 22

Les graphiques présentés ci-après font la synthèse des résultats par essences.





Le faible nombre de placettes et la variabilité des contextes dans lesquels elles sont installées (altitude, exposition, essences, département...) font qu'il est difficile de tirer des conclusions sur l'influence plus ou moins marquée de l'un ou l'autre des paramètres.

C'est pour compléter ces données et tenter de cerner les paramètres les plus influents sur la phénologie que des placettes complémentaires ont été installées dans le cadre de l'OPCC.

7.2 – Données complémentaires

Sur chacune des 38 placettes installées dans le cadre de l'OPCC, 36 arbres sont suivis de sorte à avoir une bonne représentativité tant statistique que biologique des arbres sur le terrain.

À la vue des relevés de terrain, la première constatation qui ressort est la grande variabilité inter-individus. Pourtant tous dans la même strate (dominante et co-dominante) et dans les mêmes conditions stationnelles, la phénologie de chaque individu est décalée.

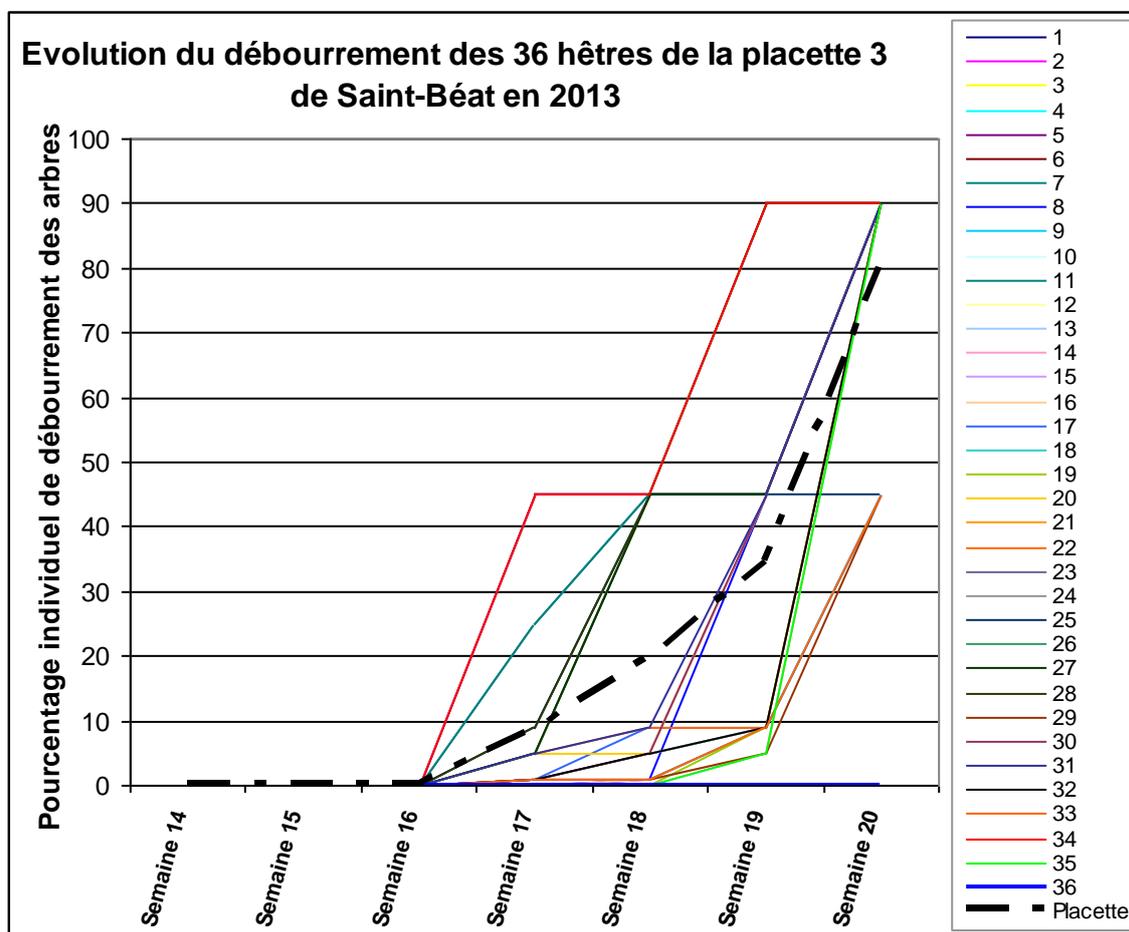


Figure 23

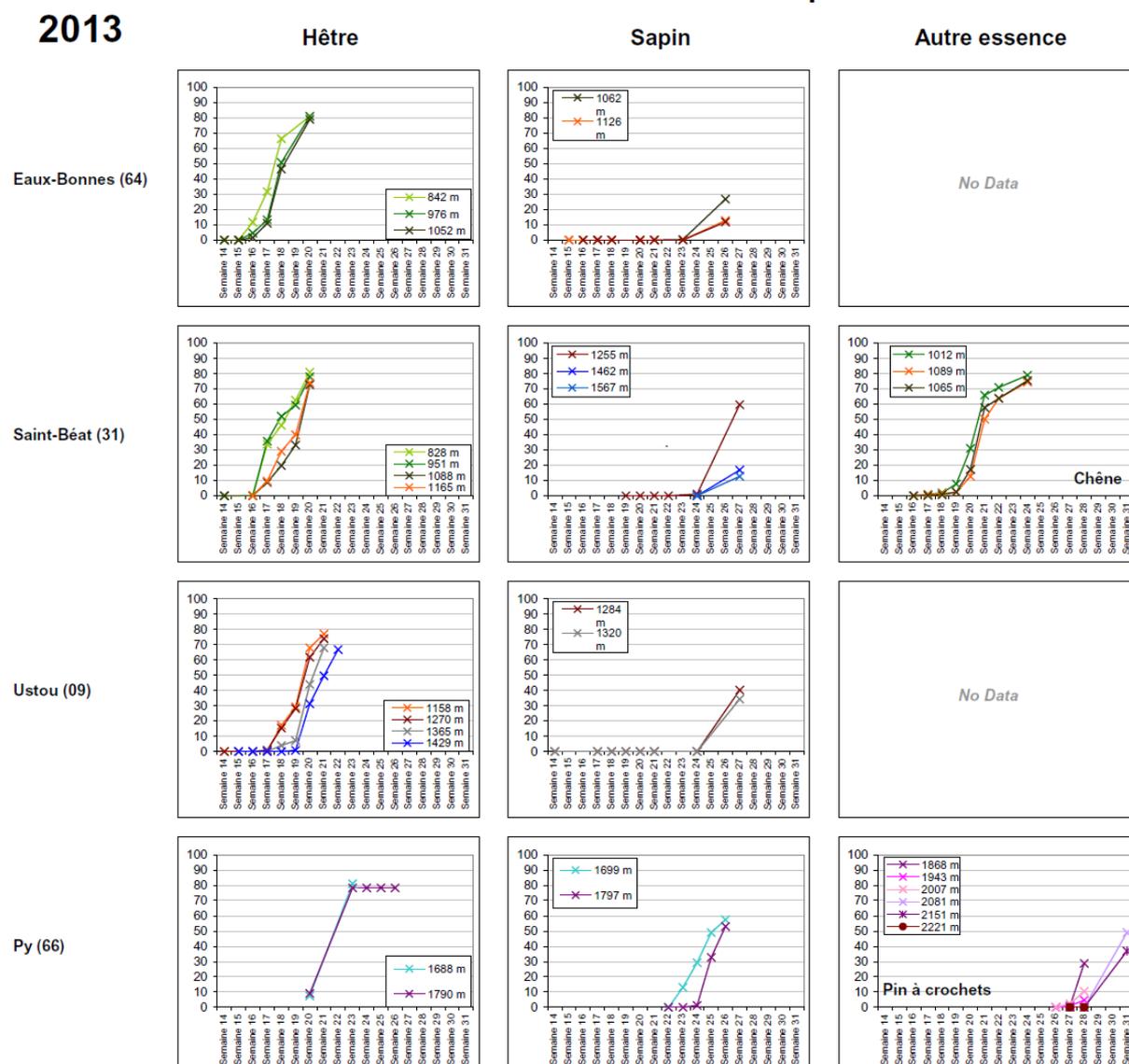
Comme illustré par l'exemple de la figure 23, les « comportements » individuels de chaque arbre sont divergents ; certains débourrent précocement et d'autres sont plus tardifs.

Le nombre important d'arbres pour chaque placette permet de lisser cette variabilité et de percevoir le comportement global des peuplements en se détachant des spécificités individuelles. Dans la suite des résultats, cette composante individuelle sera mise de côté pour ne s'intéresser qu'à l'évolution globale de la placette (moyenne de débourrement des arbres qui la composent) : évolution en pourcentage du débourrement du peuplement forestier.

Ces placettes ont été installées en 2013. A l'heure actuelle, deux campagnes de relevés sont disponibles : une année très tardive en raison d'un hiver rude et long (2013) et une année plutôt précoce en raison d'un hiver plutôt doux, tout du moins en plaine (2014).

Les résultats sont présentés sous la forme de graphiques, regroupés en ligne par localisation et en colonne par essence inventoriée. Chaque courbe est ensuite colorée en fonction de la tranche altitudinale à laquelle est installée la placette. Ce choix de représentation permet ainsi de distinguer les divergences temporelles pour le débourrement en essayant de mettre en évidence les paramètres les expliquant (type d'essence, altitude, influences océaniques...).

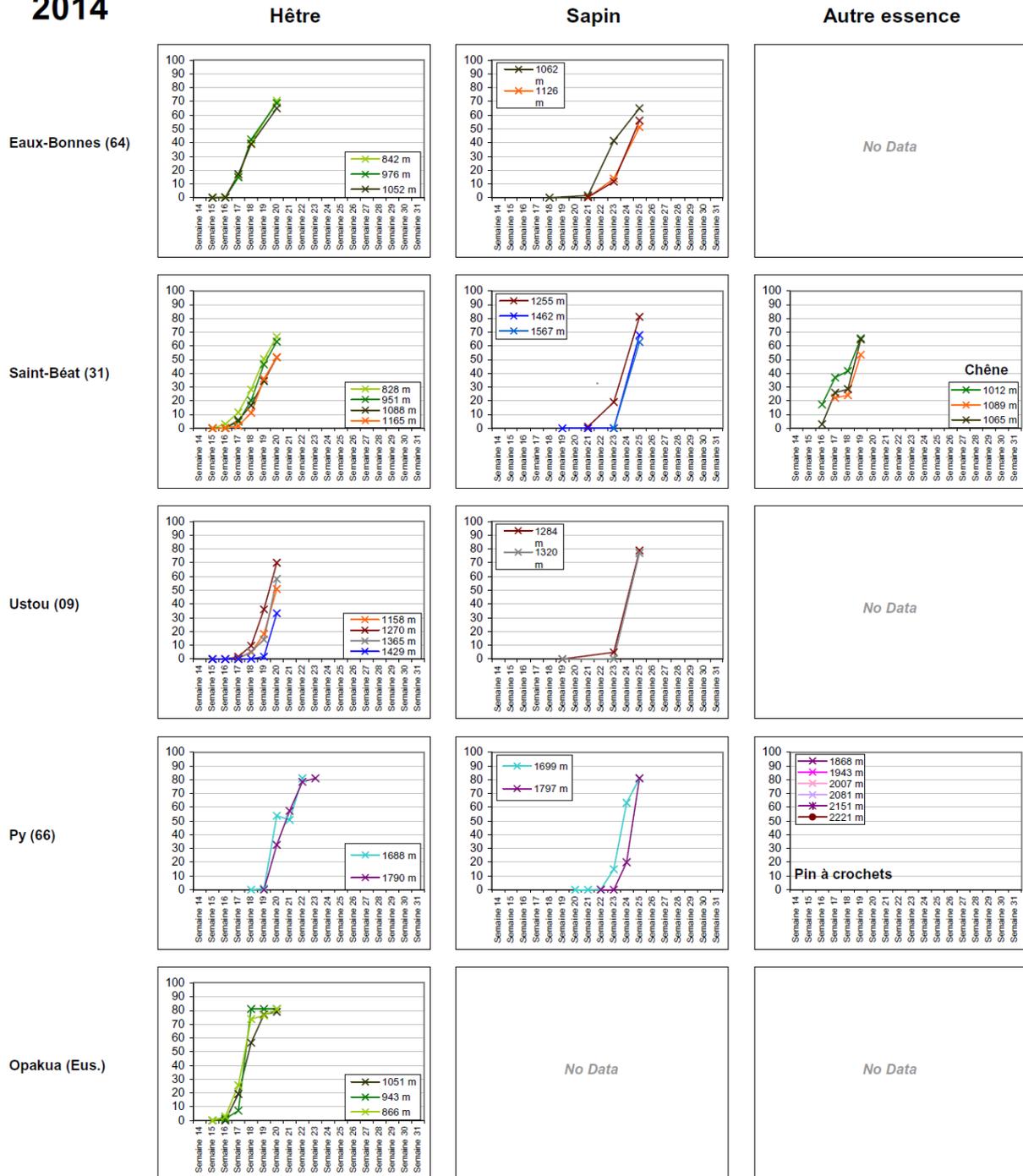
Evolution du débourrement sur les placettes OPCC



En outre, cette représentation permet de comparer les années entre elles comme c'est notamment le cas entre 2013, ci-dessus, et 2014, ci-après.

Evolution du débourrement sur les placettes OPCC

2014



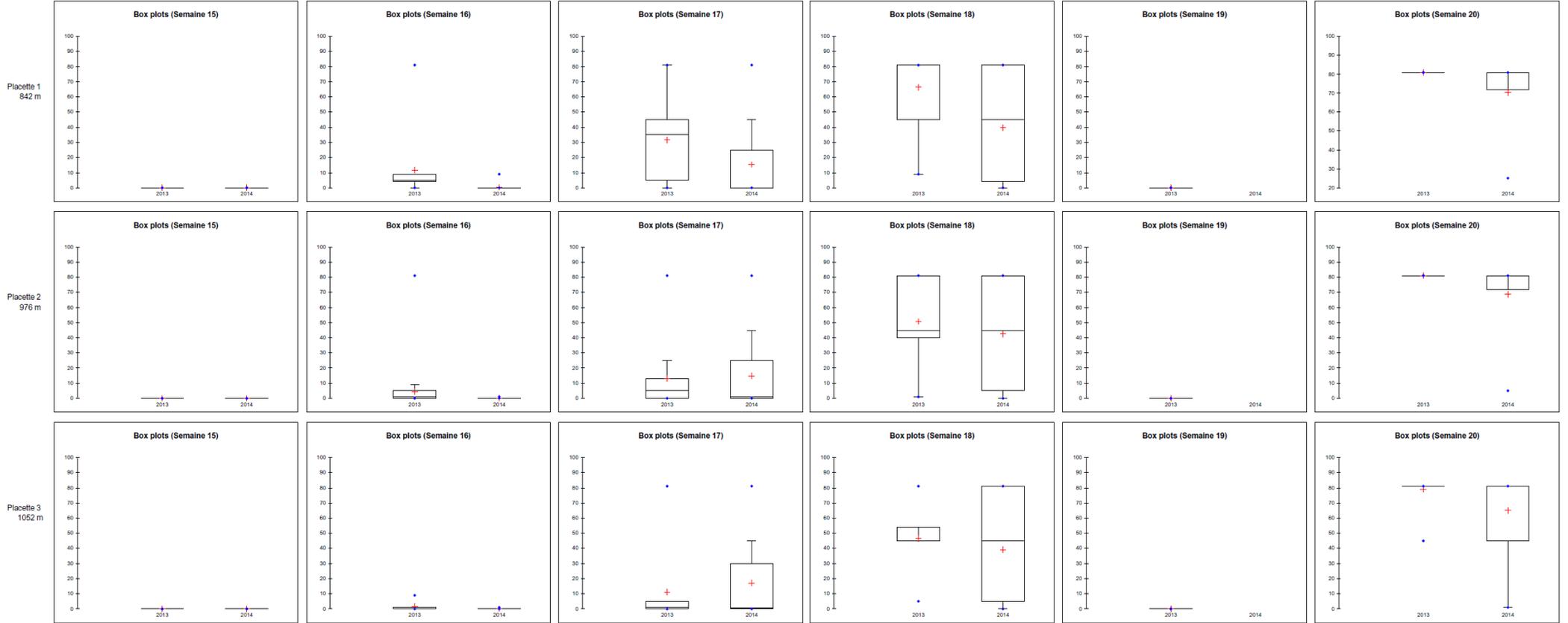
Globalement, et sans surprise, l'influence de l'altitude sur la date de débourrement ressort clairement. Il semblerait également, à altitude et essence égales, qu'une légère influence océanique (hivers plus doux) se fasse sentir avec des débournements en moyenne plus avancés à l'ouest de la chaîne des Pyrénées. Enfin, la variabilité interannuelle a eu des répercussions diverses en fonction des essences. Ceci est notamment mis en évidence par les graphiques (« boîtes à moustaches » montrant la dispersion des arbres) présentés ci-après. Ainsi le sapin et le chêne ont respectivement 2 et 4 semaines d'avance en 2014 par rapport à 2013, alors que le hêtre, lui, s'est montré plutôt constant d'une année sur l'autre. Il semblerait, en observant attentivement les résultats, que les premiers débournements ont effectivement eu lieu à la même date mais que les bourgeons se soient plus vite épanouis en 2013 qu'en 2014.

Ces constatations nécessitent toutefois confirmation. Pour cela, il va de soi de rappeler la nécessité d'un suivi sur le long terme de ces placettes pour confirmer ou infirmer ces premières tendances.

Evolution du débourrement

Site : Eaux-Bonnes

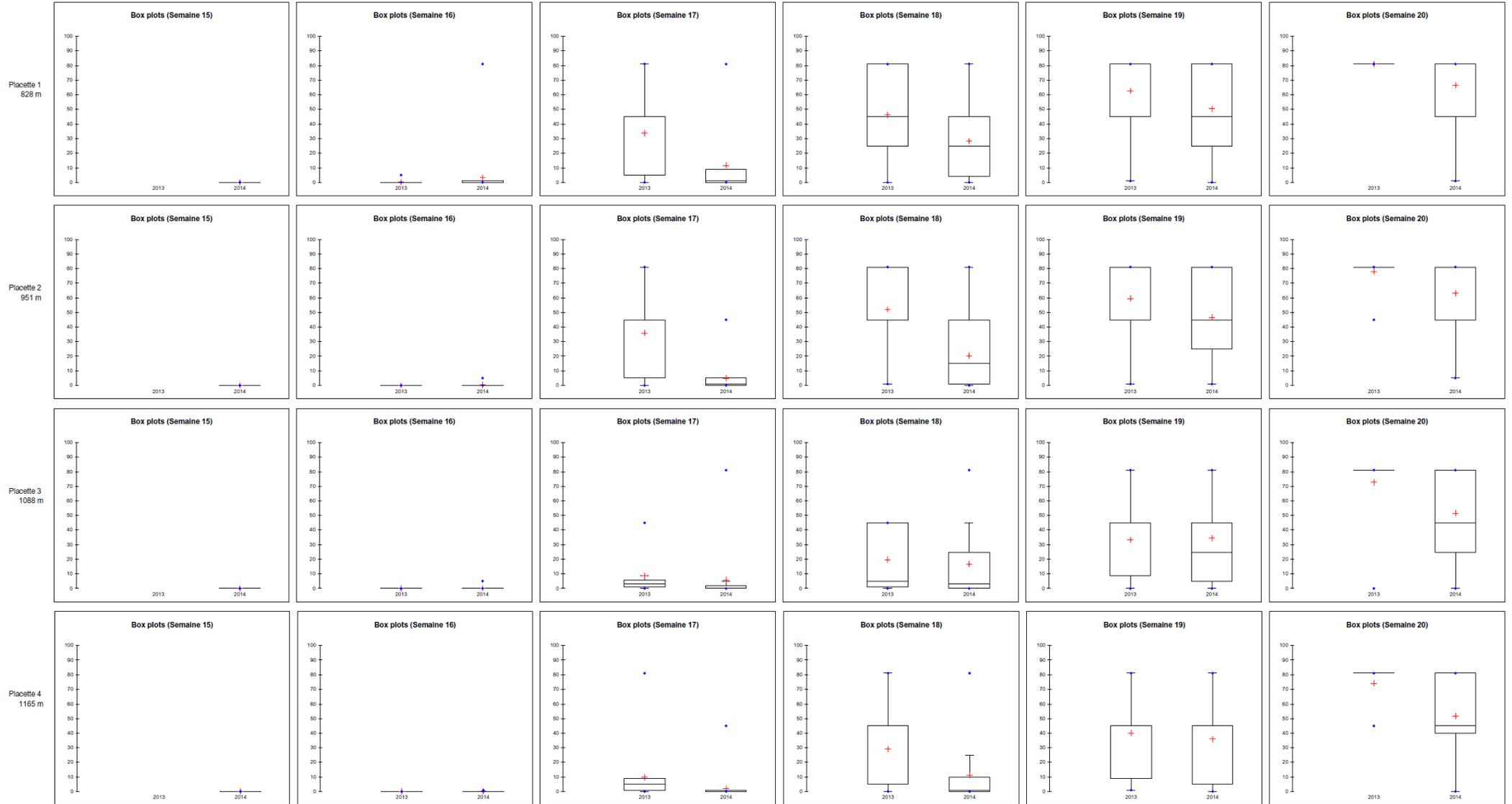
Essence : Hêtre



Evolution du débourrement

Site : Saint-Béat

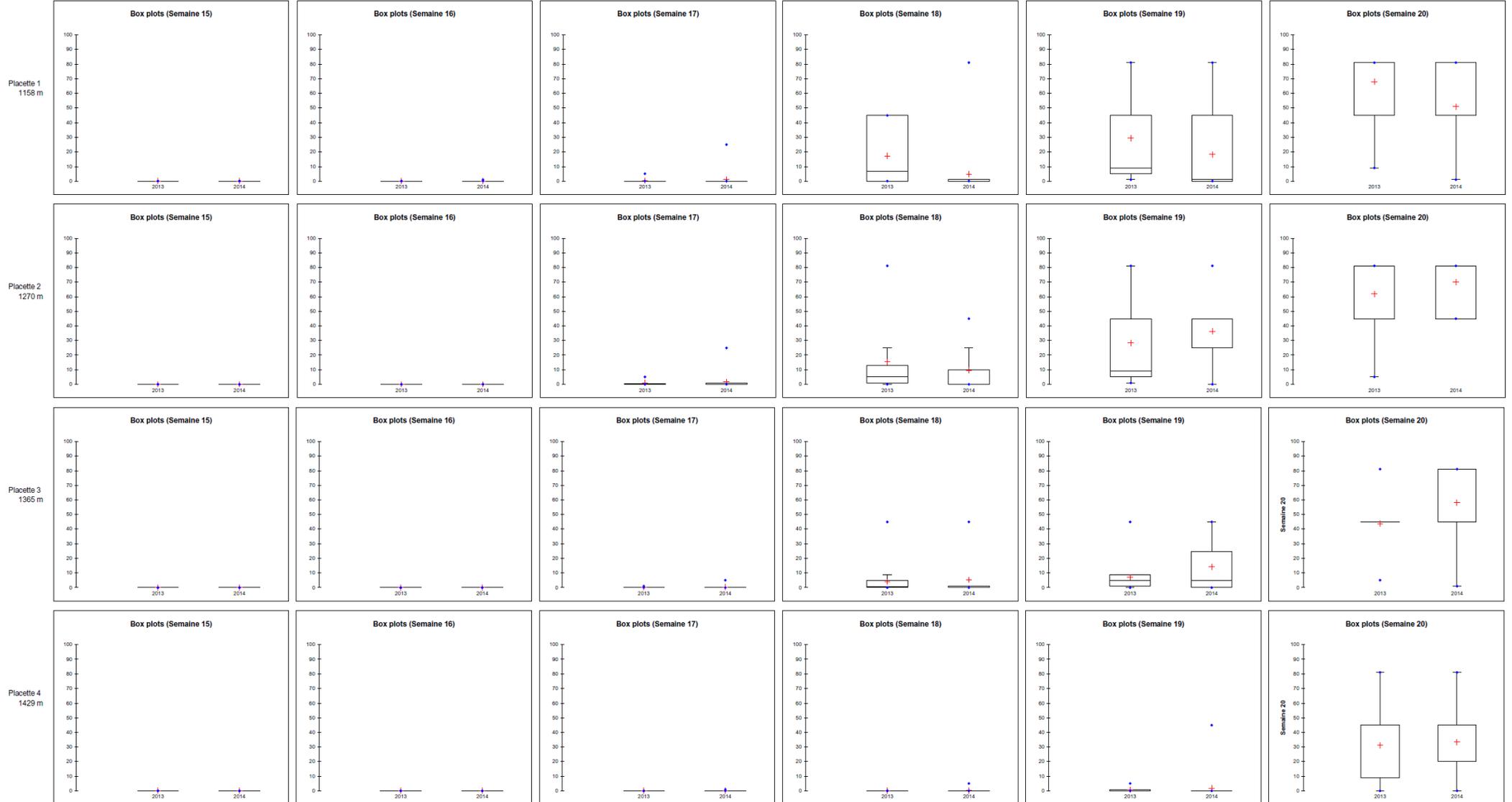
Essence : Hêtre



Evolution du débourrement

Site : Ustou

Essence : Hêtre

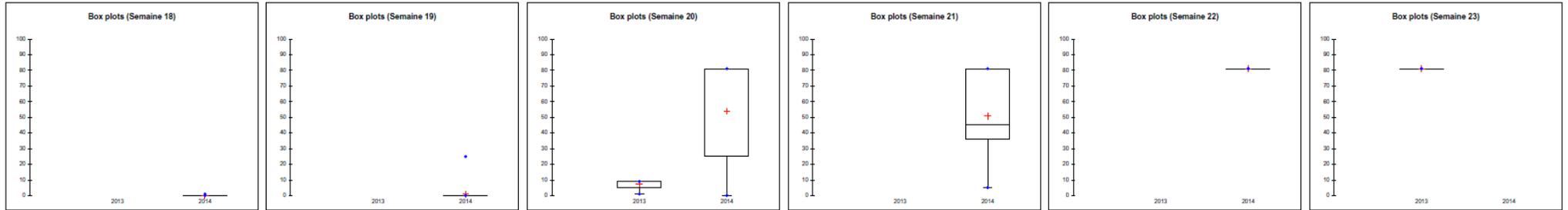


Evolution du débourrement

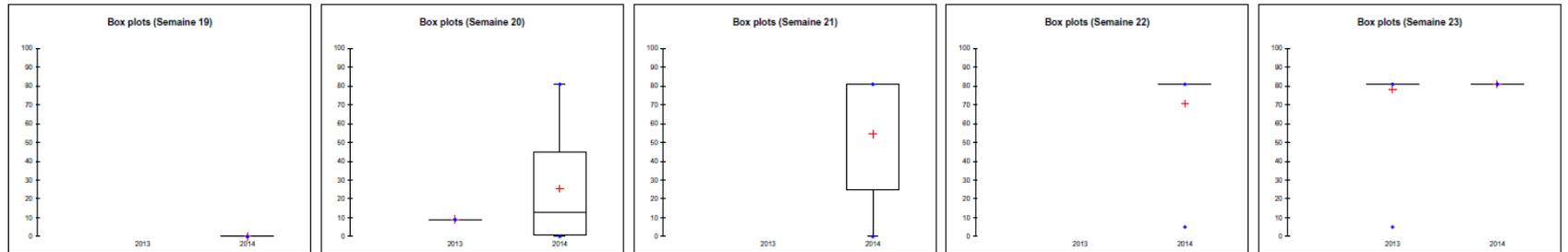
Site : Py

Essence : Hêtre

Placette 1
1688 m



Placette 2
1790 m

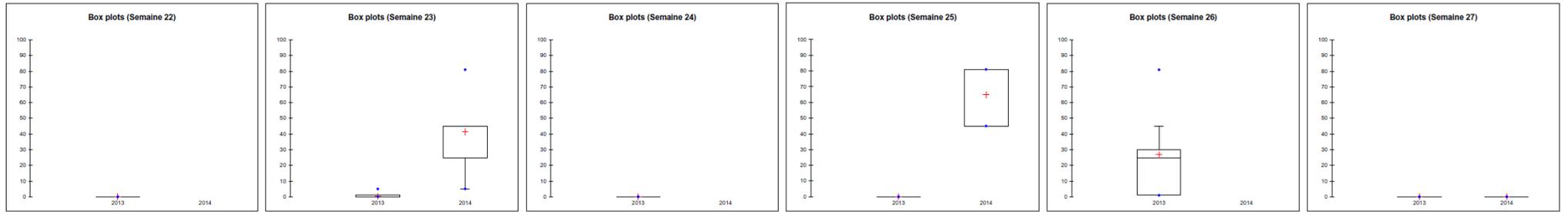


Evolution du débourrement

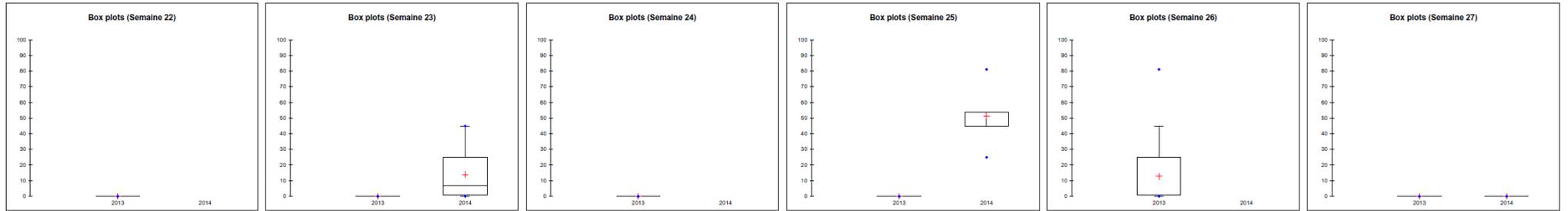
Site : Eaux-Bonnes

Essence : Sapin

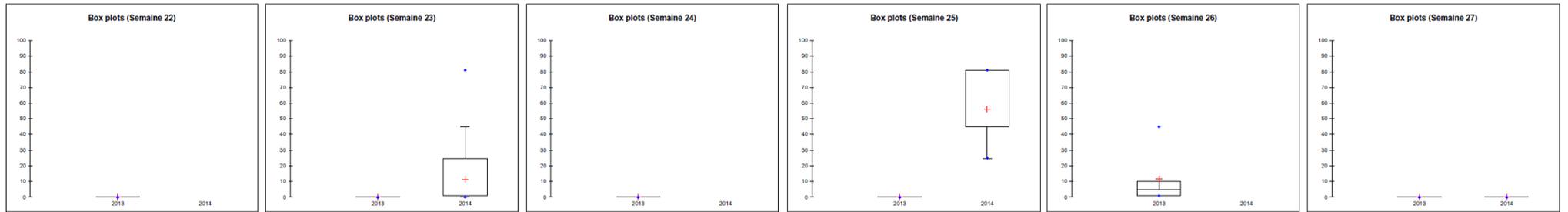
Placette 1
1062 m



Placette 2
1126 m



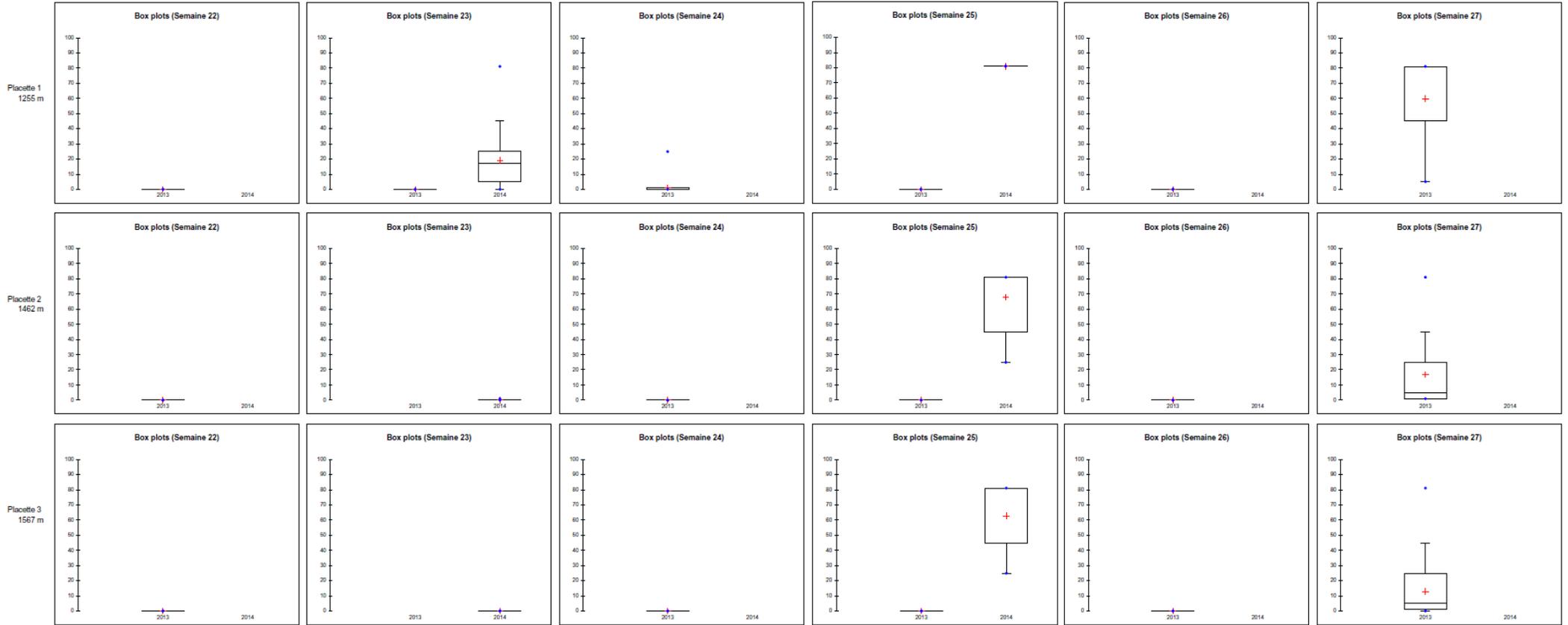
Placette 3
1199 m



Evolution du débourrement

Site : Saint-Béat

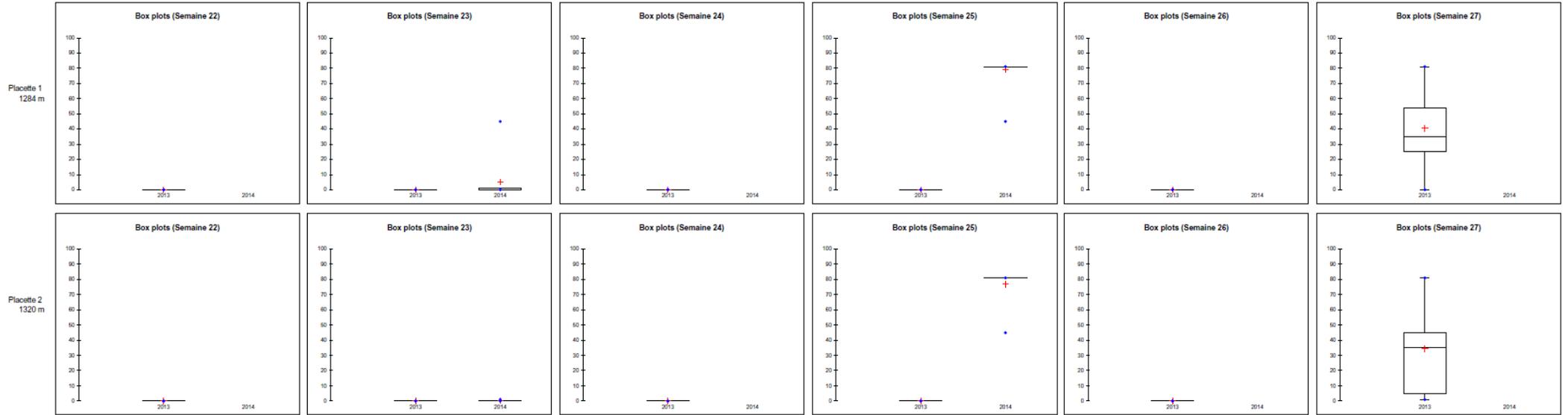
Essence : Sapin



Evolution du débourrement

Site : Ustou

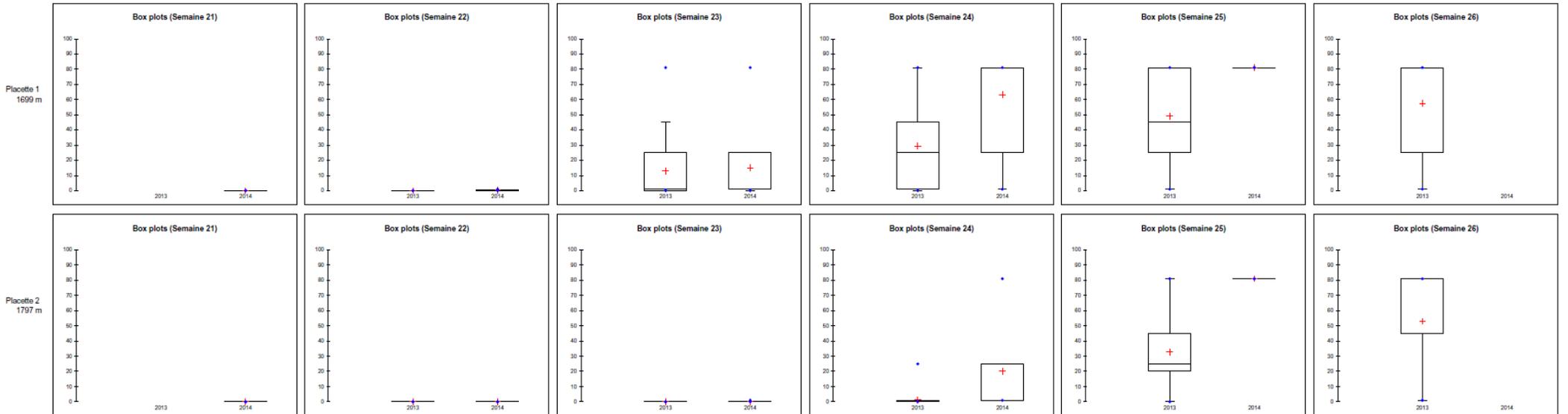
Essence : Sapin



Evolution du débourrement

Site : Py

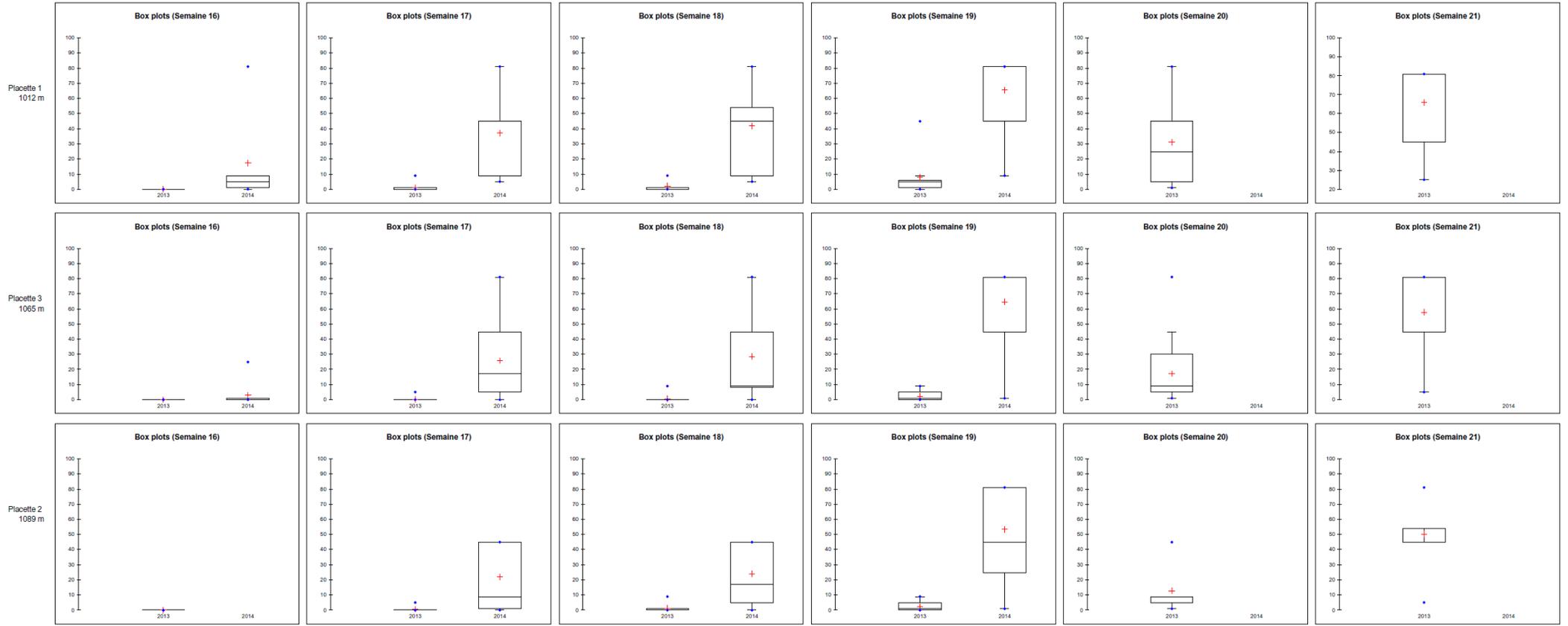
Essence : Sapin



Evolution du débourrement

Site : Saint-Béat

Essence : Chêne



7.3 – Lien avec la télédétection

Les placettes complémentaires installées spécifiquement pour l'OPCC apportent des informations intéressantes mais n'en reste pas moins ponctuelles. Les données relevées n'informent de la phénologie que des arbres inventoriés pour des essences données, en des lieux et contextes stationnels précis. Mais que se passe-t-il entre les points de relevés ?

Telle est la question à laquelle la télédétection semble pouvoir apporter une réponse. En effet, la disponibilité des images satellites permet de faire des traitements d'images à grande échelle pour chaque point des Pyrénées, sous réserve de disposer des images. Sans rentrer dans les détails du choix des images satellites (différentes résolutions et différentes périodes de retour), il semble logique que « plus les pixels seront fins et les périodes de retour fréquentes, meilleur sera l'intérêt de ces technologies ». La perspective des satellites « Sentinelles », lancés à partir de 2014, fait entrevoir des possibilités intéressantes d'analyses de la phénologie (résolution de 20 mètres et période de retour du satellite sur la même zone tous les 5 jours).

Ces méthodes semblent certes intéressantes mais nécessitent dans un premier temps des données de terrains pour servir au calibrage des modèles. Ainsi, les axes Télédétection et Forêt de l'OPCC se sont concertés pour fournir les données de débourrement en 2013 et tenter une approche de la méthodologie de calibration avec les données de SPOT Five. En 2013, ce satellite a été changé d'orbite, à l'initiative de l'OPCC, afin d'anticiper ce que pourrait être la disponibilité des données Sentinelles. Malheureusement, le printemps 2013 a été très perturbé et nuageux. Les images satellites exploitables sont peu nombreuses en raison des nuages, donc les périodes de retour sur un même site ne sont pas de 5 jours mais souvent bien plus longues. Les périodes de débourrement du hêtre ont notamment été très nuageuses et peu d'images sont valorisables *a priori*. En raison de ce manque d'images, les tentatives de calibration ont été infructueuses.

L'idée n'en reste pas moins intéressante, sous réserve de disponibilité des images. La télédétection peut ainsi apporter un complément d'information intéressant mais les relevés de terrains semblent indispensables, notamment pour faire transparaître une vision plus fine et réelle des écosystèmes, mais également et surtout parce qu'ils ne sont pas tributaires des conditions météorologiques. Même par temps nuageux, il est possible d'aller sur le terrain pour disposer des données ou au moins de décaler l'inventaire d'une ou deux journées pour bénéficier de conditions plus clémentes ce qui n'est pas, jusqu'à présent, possible avec les satellites qui passent à intervalle de temps constant, même si le temps n'est pas propice.

Pour illustrer les liens possibles entre télédétection et relevés de terrain, une série de carte est présentée ci-après, sur fond d'orthophotographies. Pour une essence et un site précis, les cartes sont classées en ligne par placette (et altitude croissante) et en colonne par semaine de l'année en cours. Il est ainsi possible de se représenter le débourrement de chaque arbre et de chaque placette. Plus les cercles sont gros, plus le pourcentage de débourrement de l'arbre est important. Sous réserve d'images satellite disponibles sur plusieurs semaines, le débourrement pourrait transparaître par des différences de teintes des pixels. Pour peu que ces pixels soient suffisamment fins et bien calés, ils pourraient être représentatifs des placettes de relevés sur le terrain. Ces perspectives restent envisageables avec les progrès techniques actuels.

Evolution du débourrement

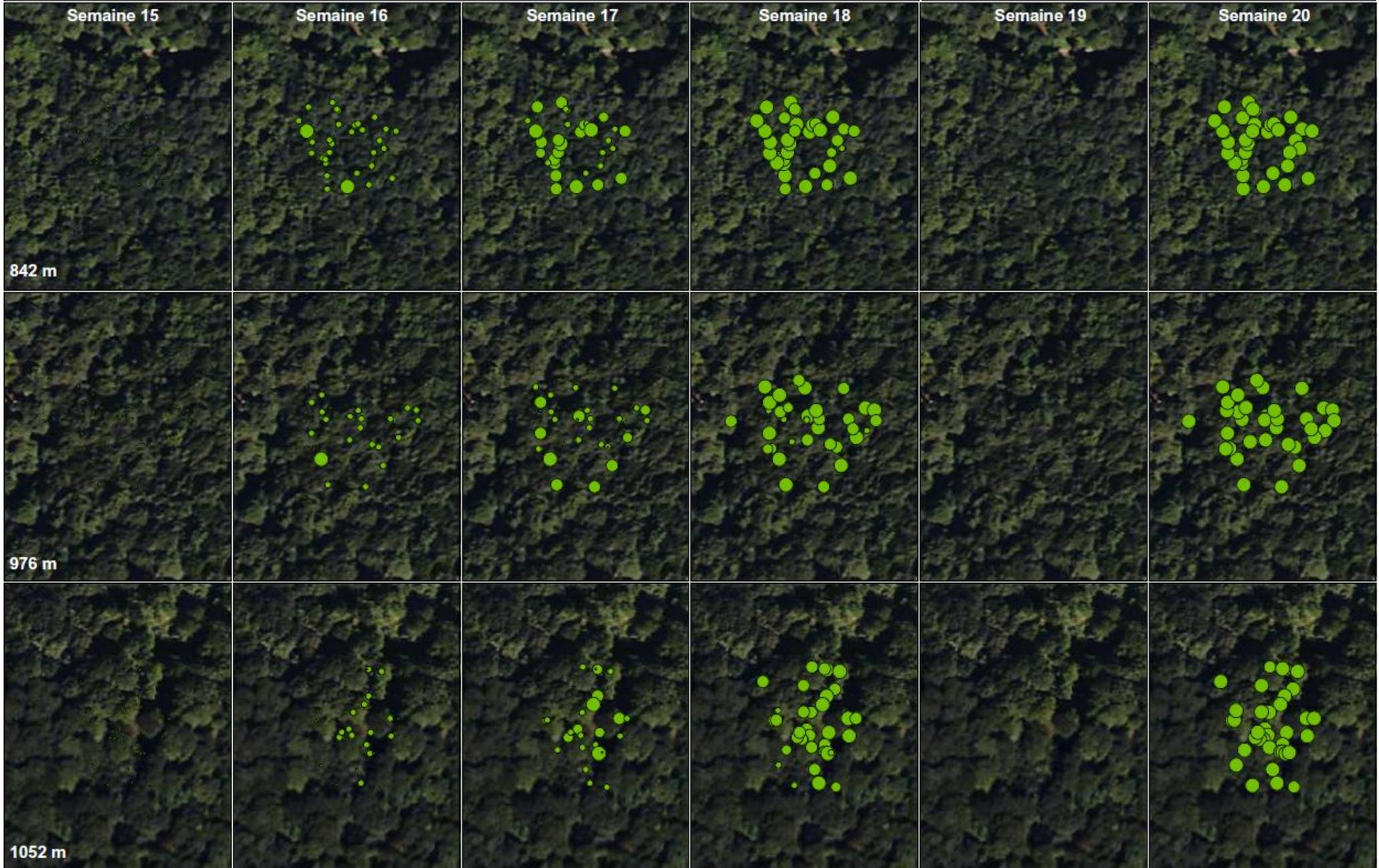
Année : 2013
Site : Eaux-Bonnes (64)
Essence : Hêtre

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

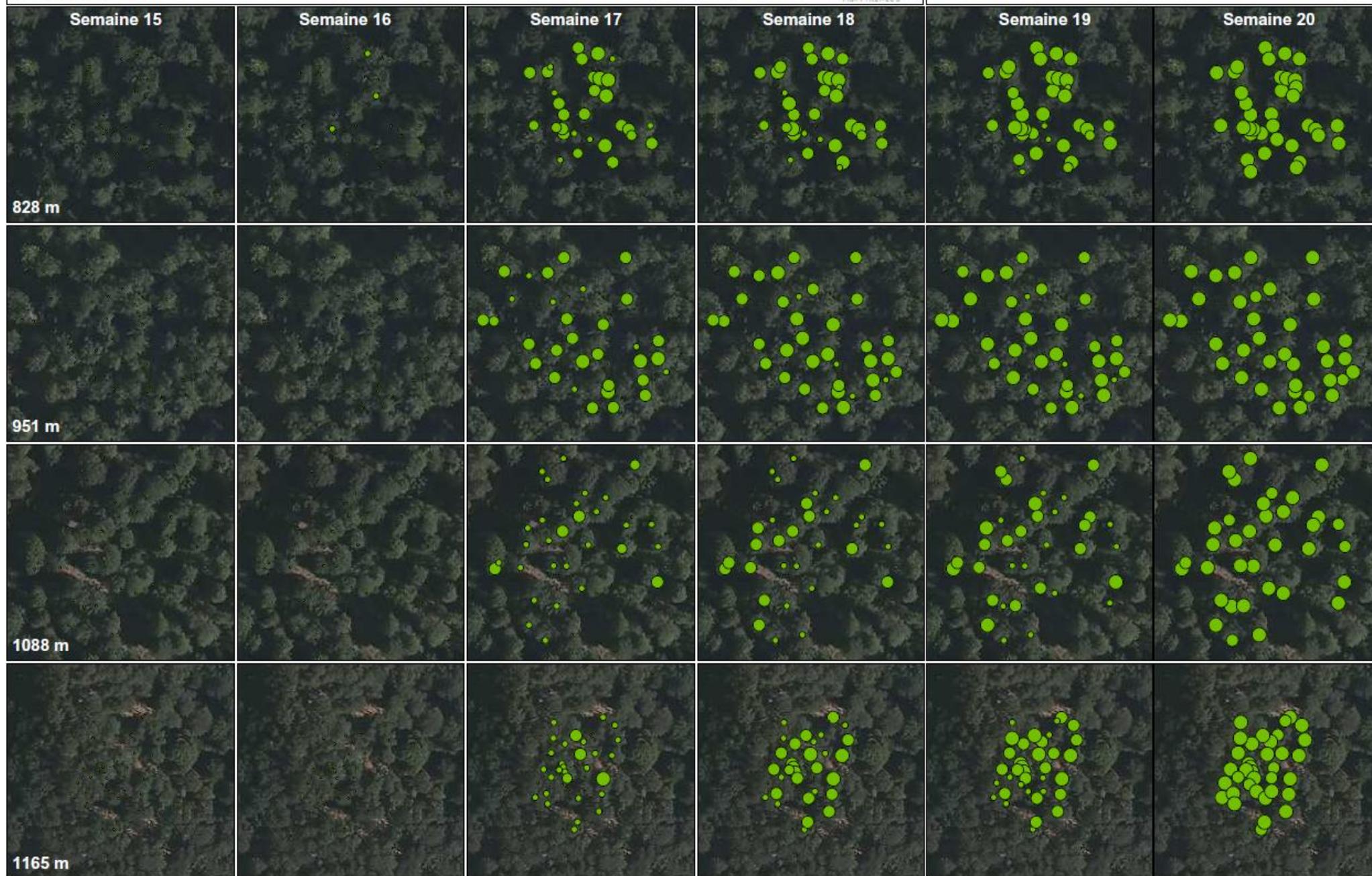
Année : 2013
Site : Saint-Béat (31)
Essence : Hêtre

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

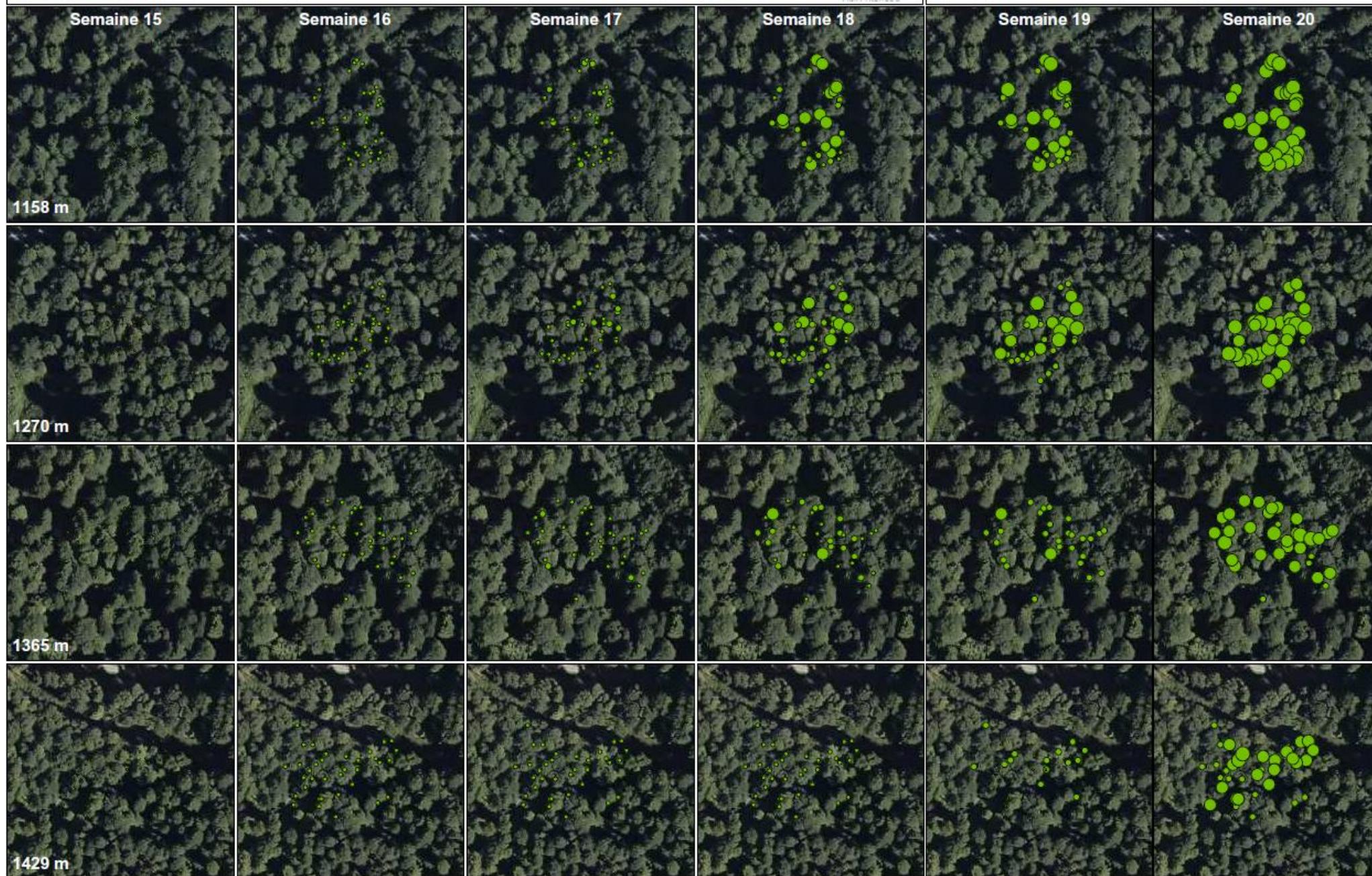
Année : 2013
Site : Ustou (09)
Essence : Hêtre

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

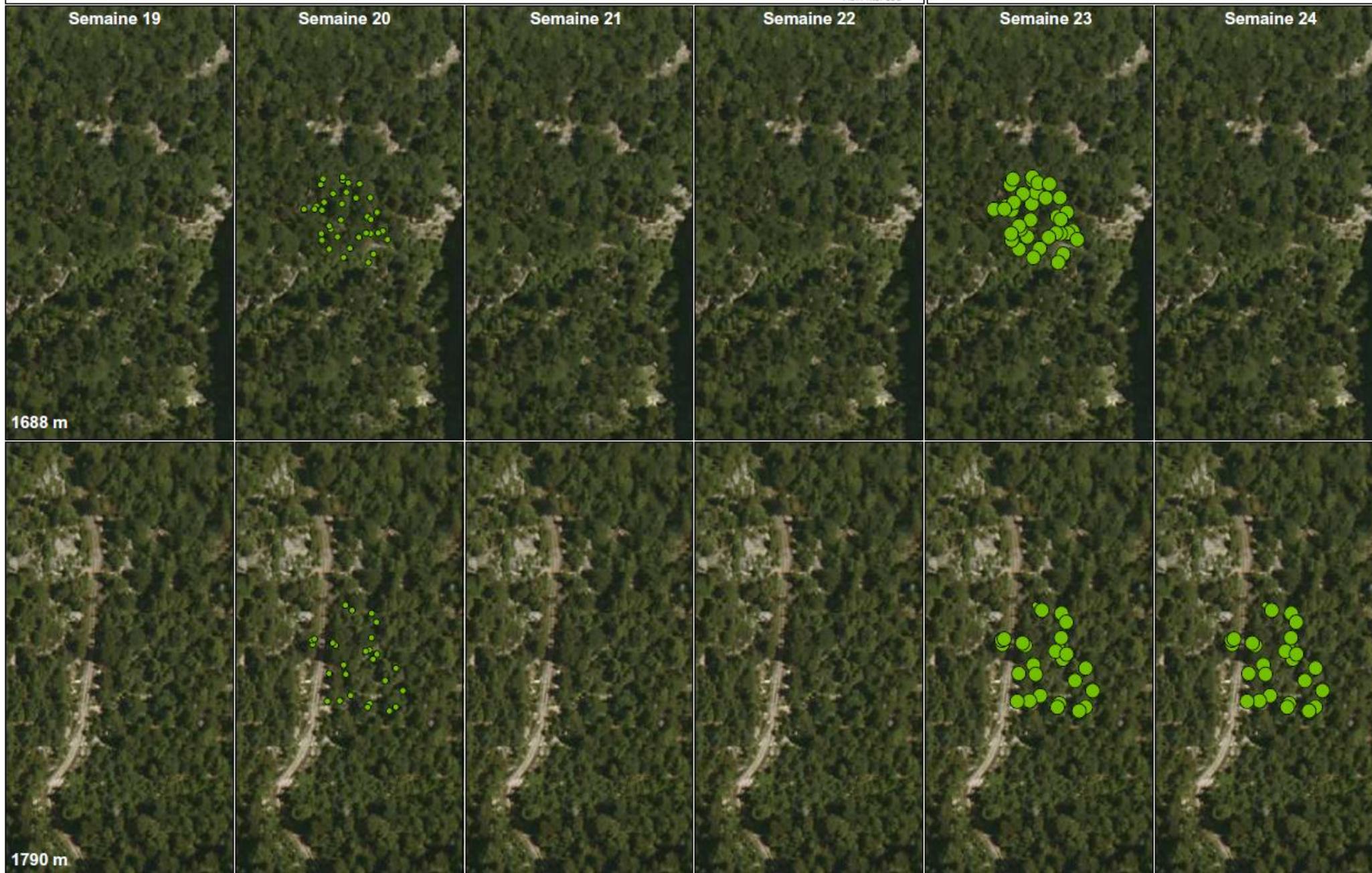
Année : 2013
Site : Py (66)
Essence : Hêtre

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

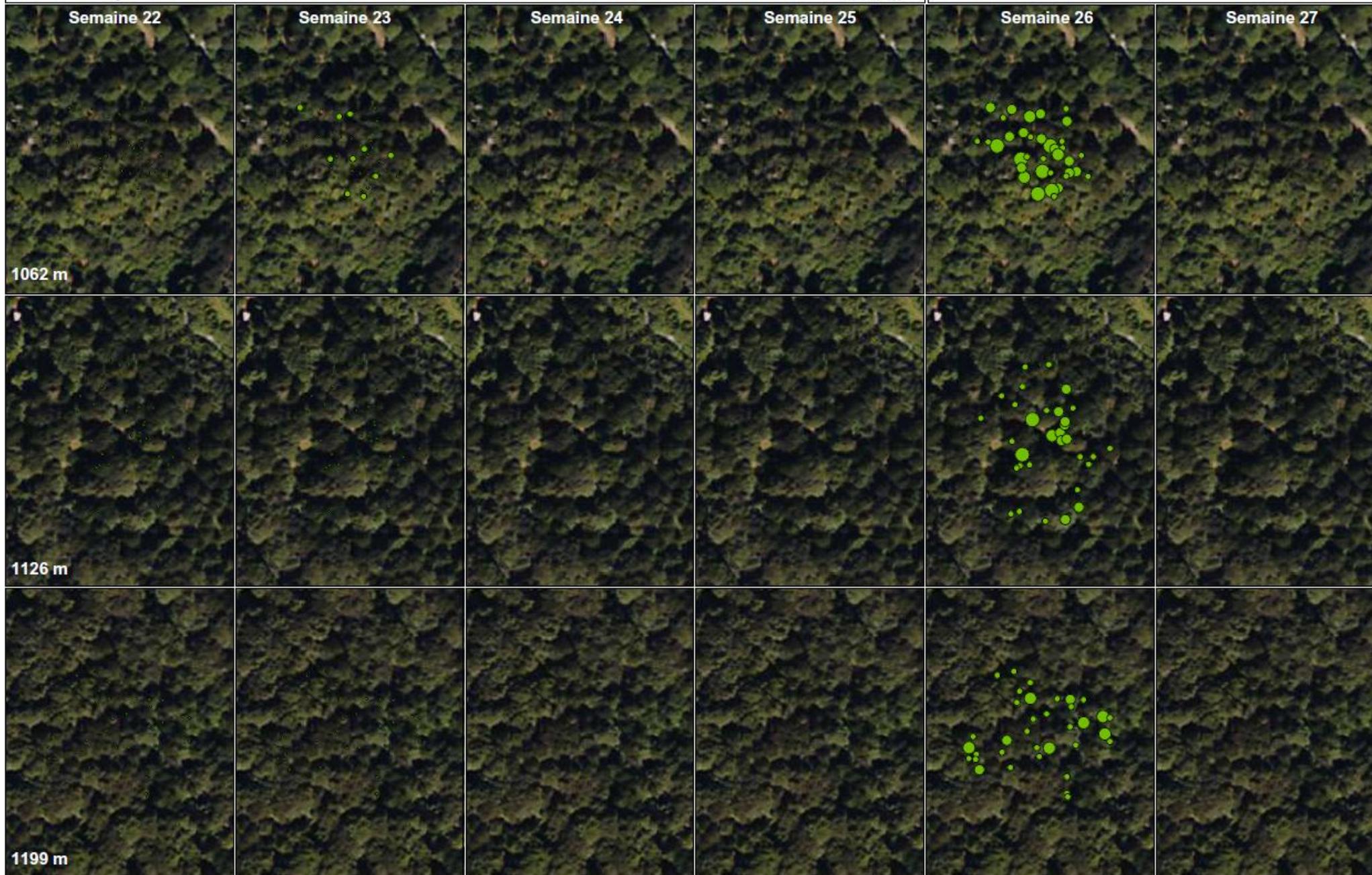
Année : 2013
Site : Eaux-Bonnes (64)
Essence : Sapin

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- 80 à 100
- 45 à 80
- 25 à 45
- 10 à 25
- 1 à 10
- 0 à 1



Evolution du débourrement

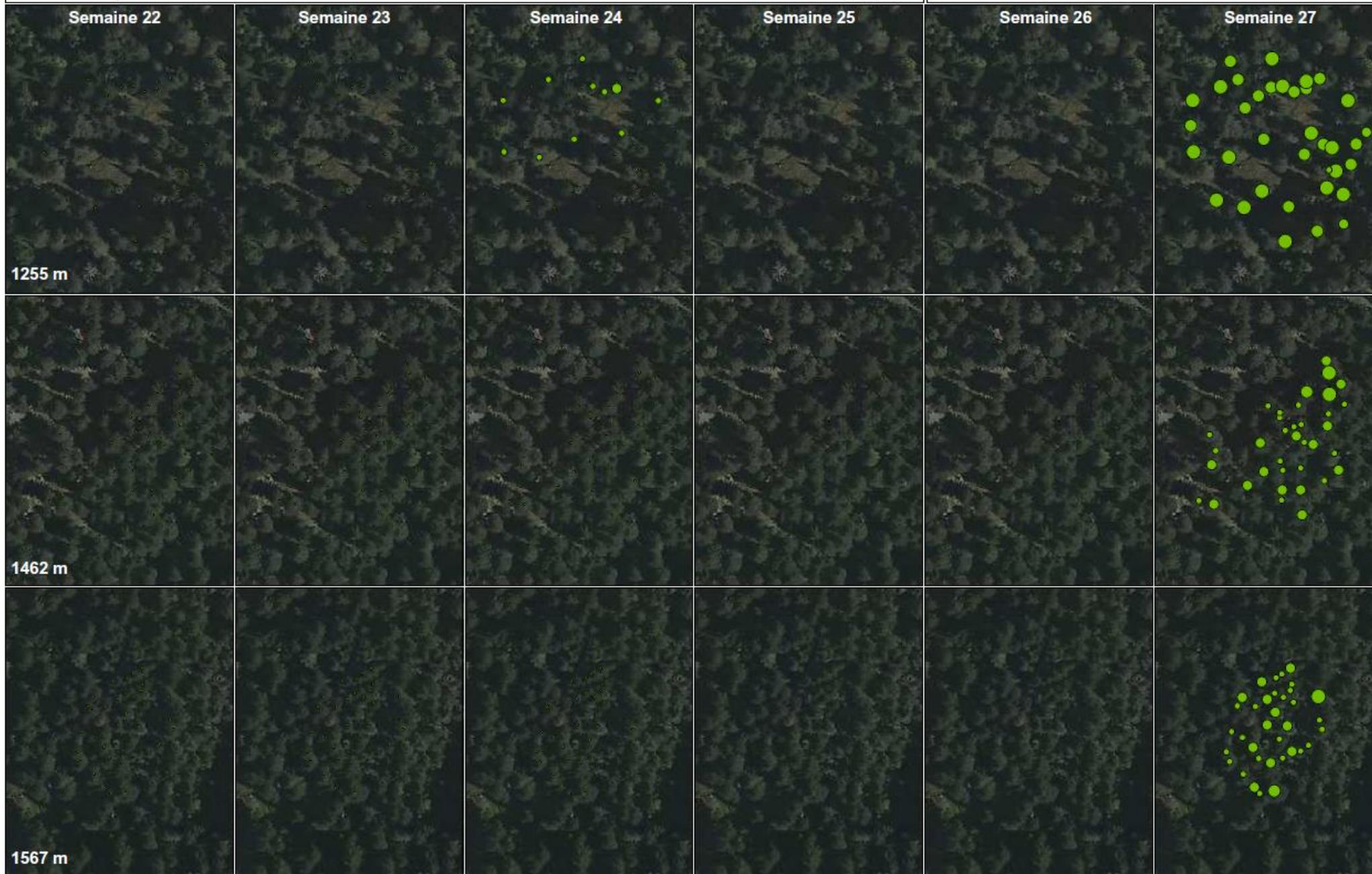
Année : 2013
Site : Saint-Béat (31)
Essence : Sapin

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

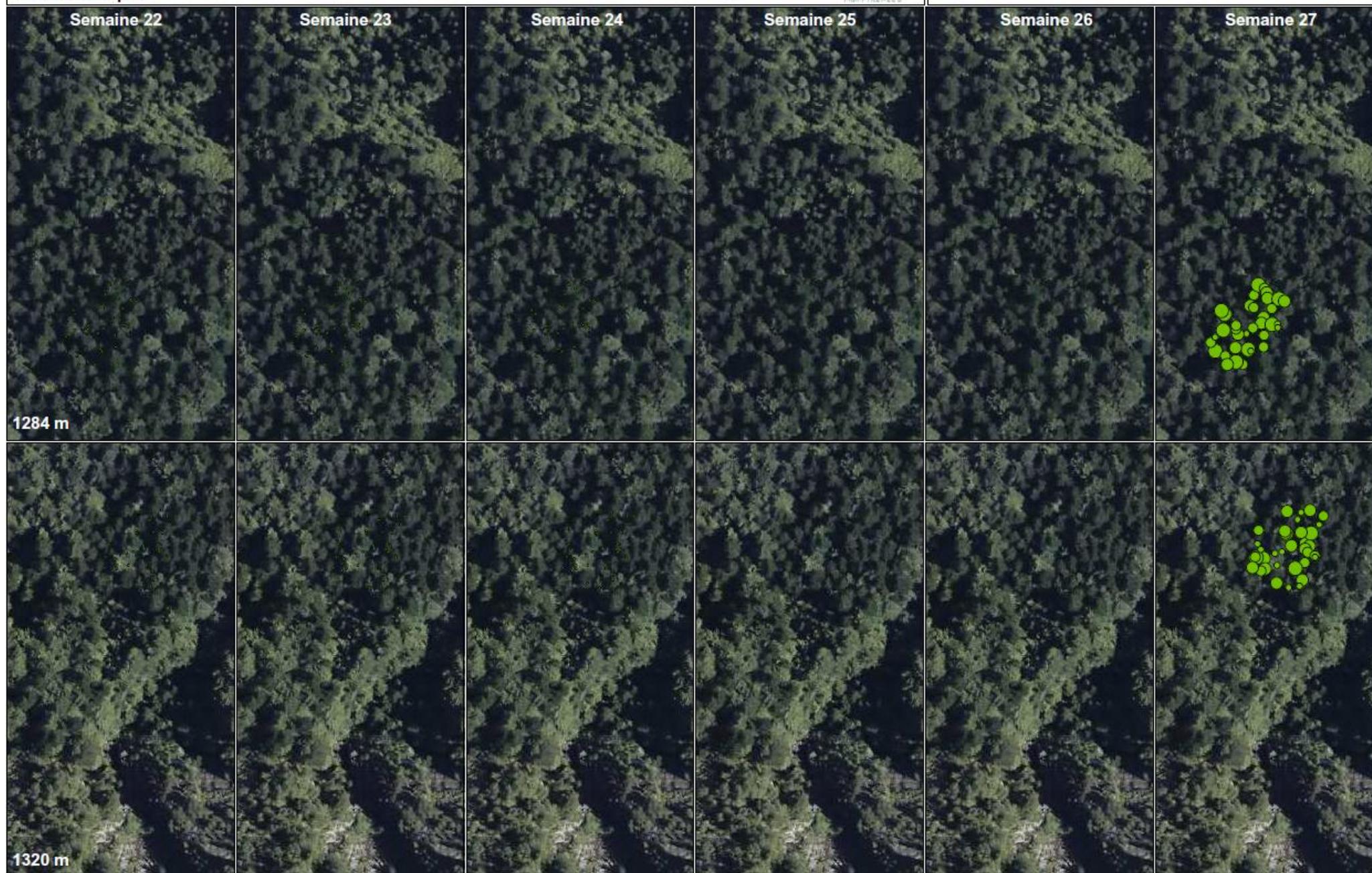
Année : 2013
Site : Ustou (09)
Essence : Sapin

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

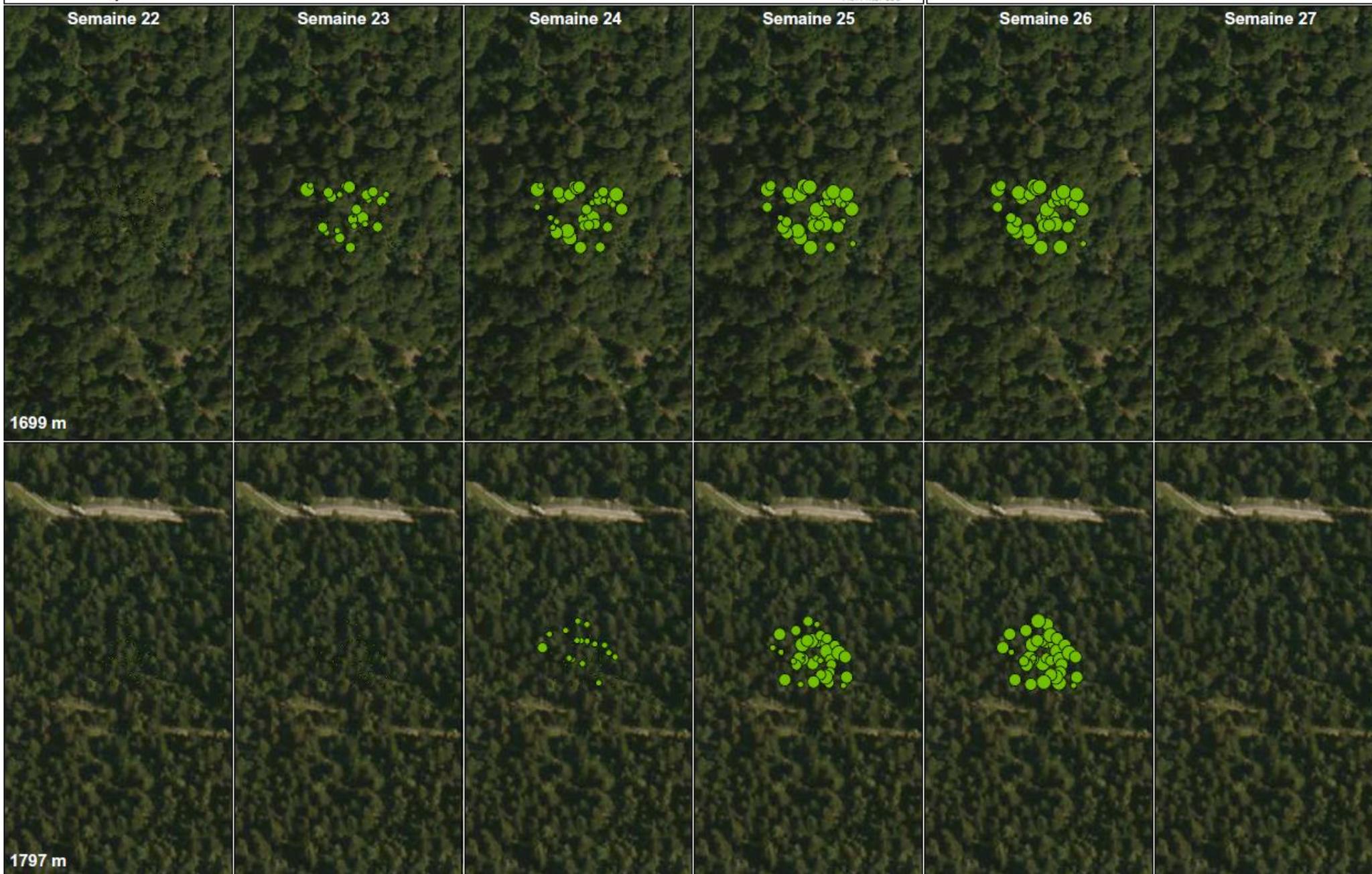
Année : 2013
Site : Py (66)
Essence : Sapin

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

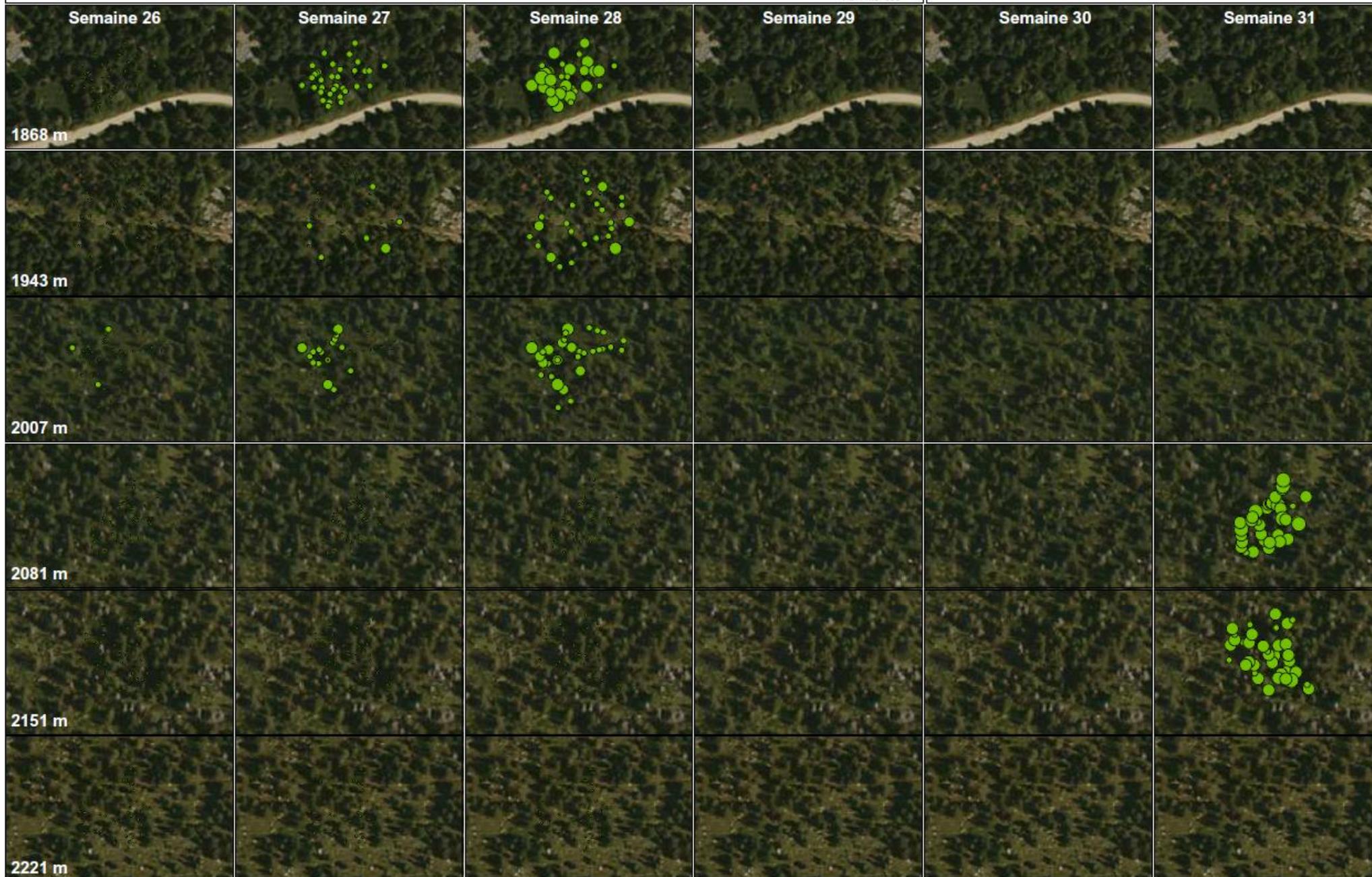
Année : 2013
 Site : Py (66)
 Essence : Pin à crochets

Juillet 2013
 Sources :
 Orthophoto - IGN
 Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- 80 à 100 ● 10 à 25
- 45 à 80 ● 1 à 10
- 25 à 45 ● 0 à 1



Evolution du débourrement

Année : 2013
Site : Saint-Béat (31)
Essence : Chêne

Juillet 2013
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



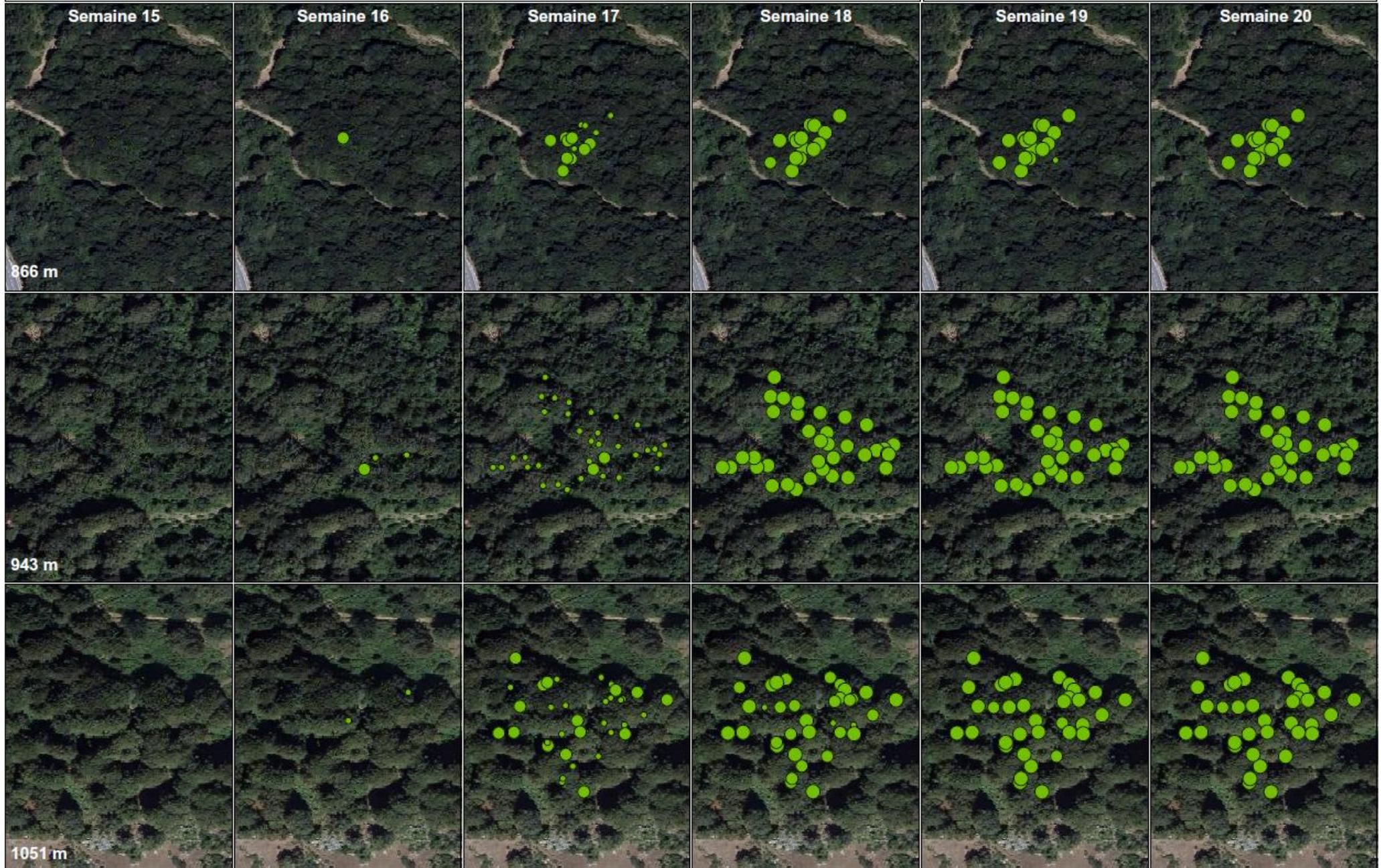
Evolution du débourrement

Année : 2014
Site : Opakua (Eus)
Essence : Hêtre

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement



Evolution du débourrement

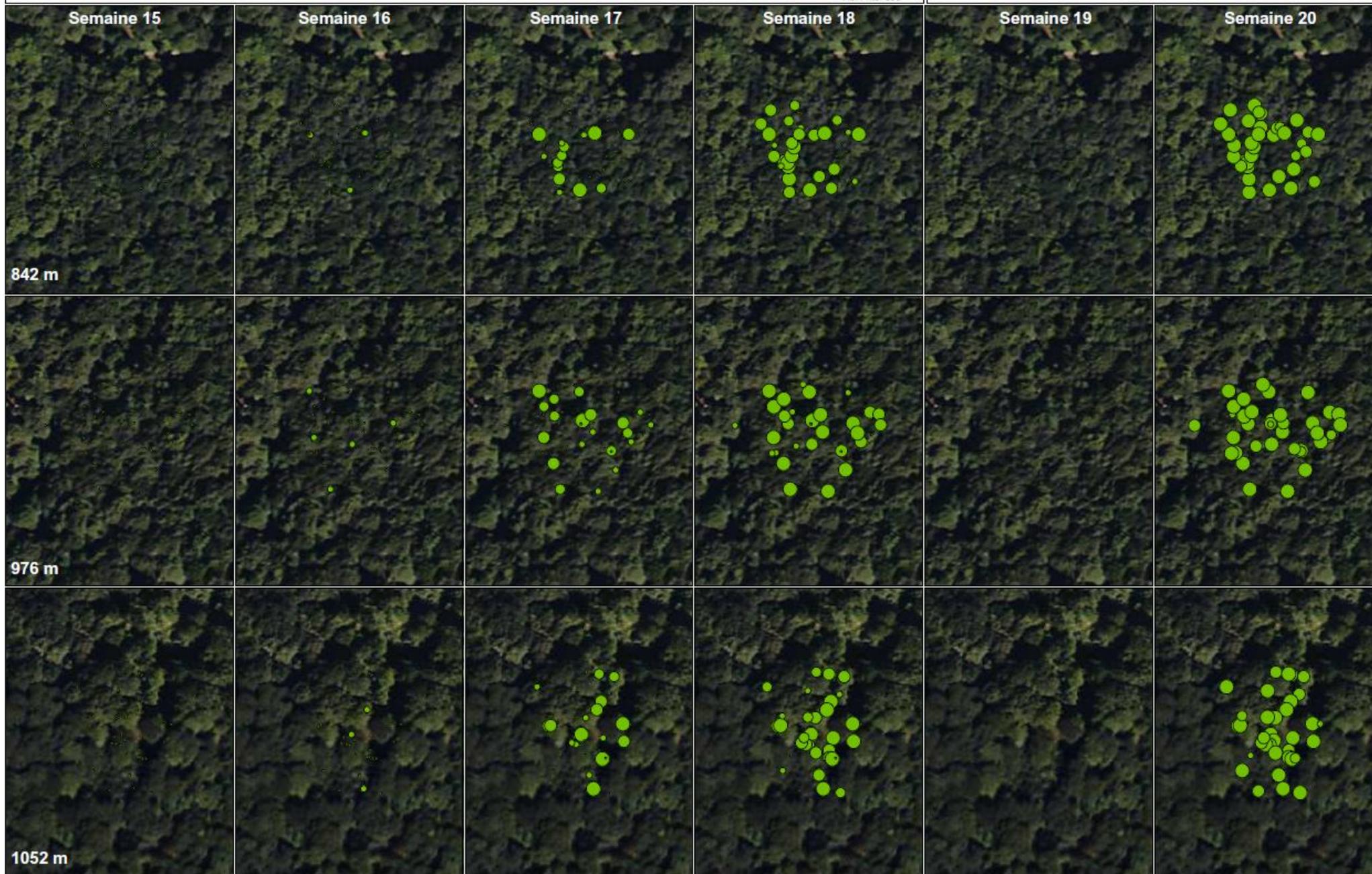
Année : 2014
Site : Eaux-Bonnes (64)
Essence : Hêtre

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

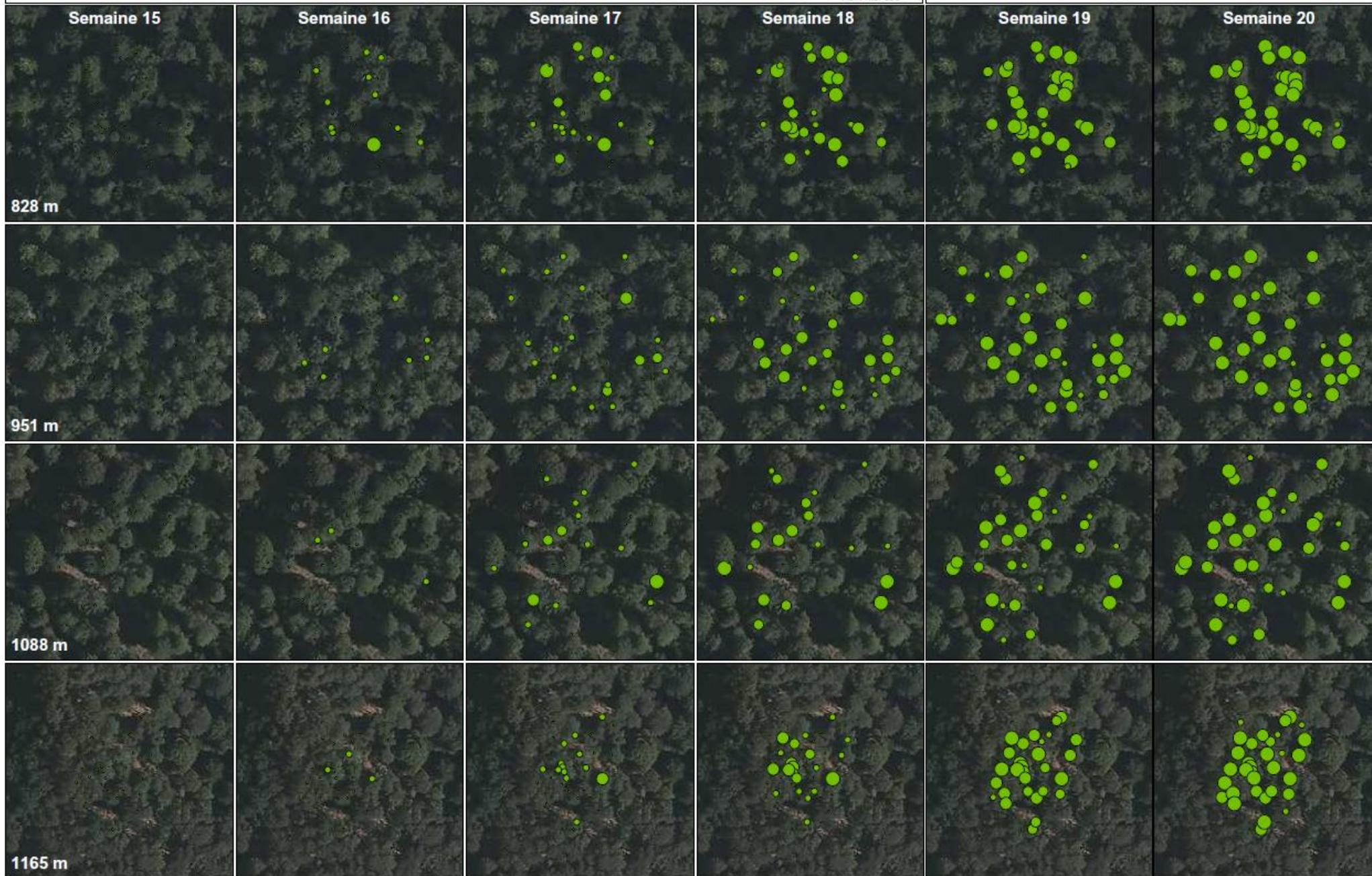
Année : 2014
Site : Saint-Béat (31)
Essence : Hêtre

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

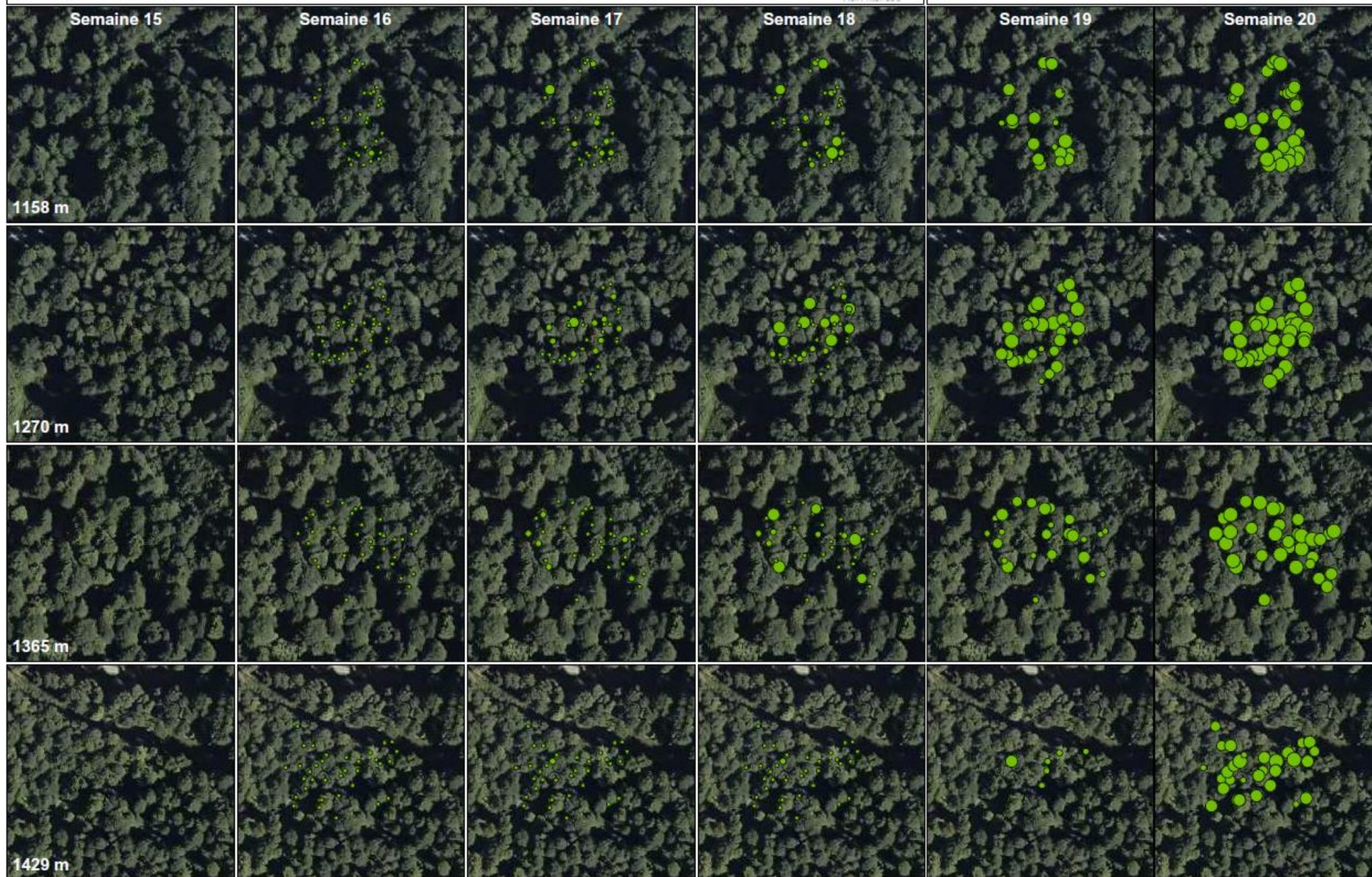
Année : 2014
Site : Ustou (09)
Essence : Hêtre

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- 80 à 100
- 45 à 80
- 25 à 45
- 10 à 25
- 1 à 10
- 0 à 1



Evolution du débourrement

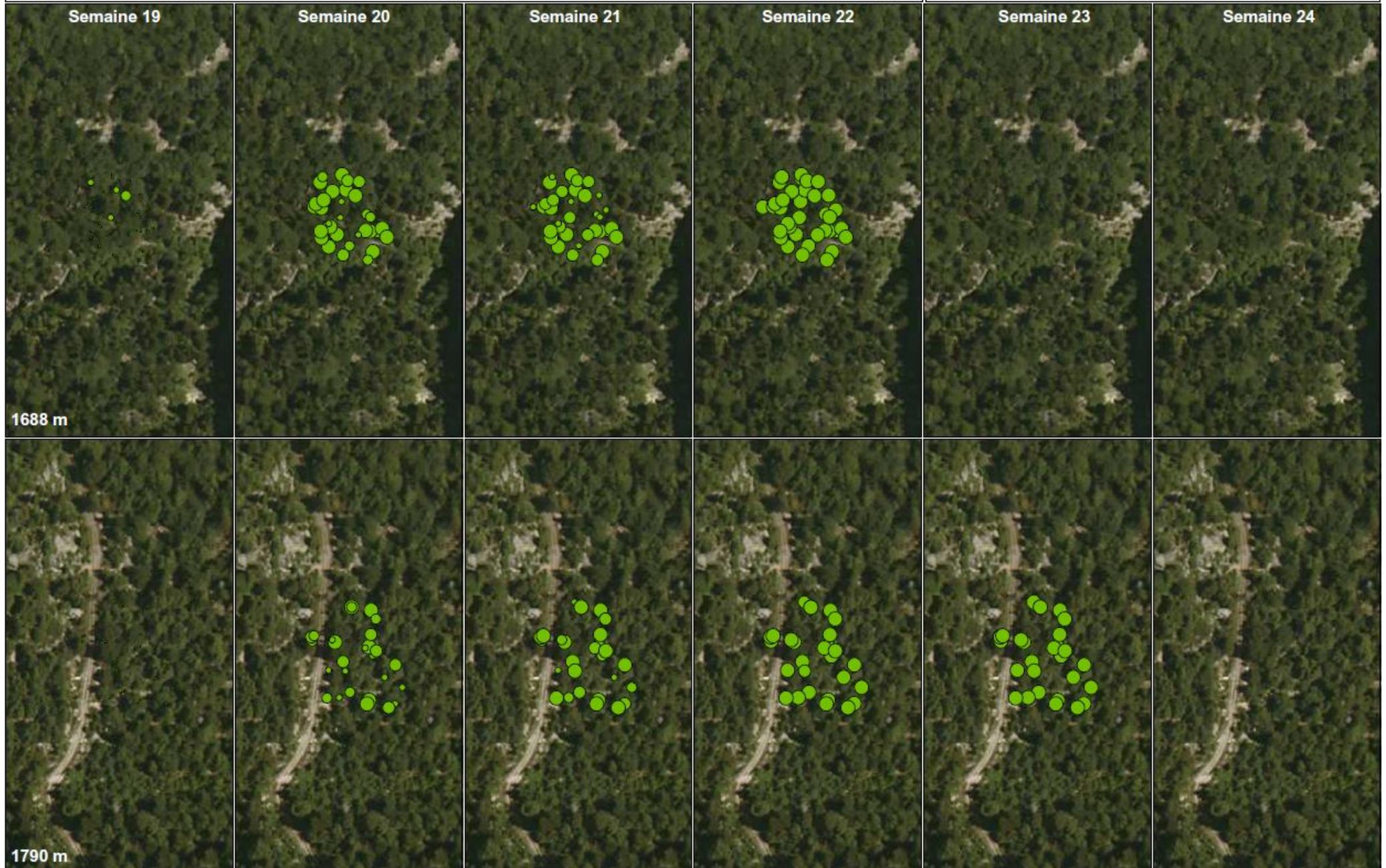
Année : 2014
Site : Py (66)
Essence : Hêtre

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

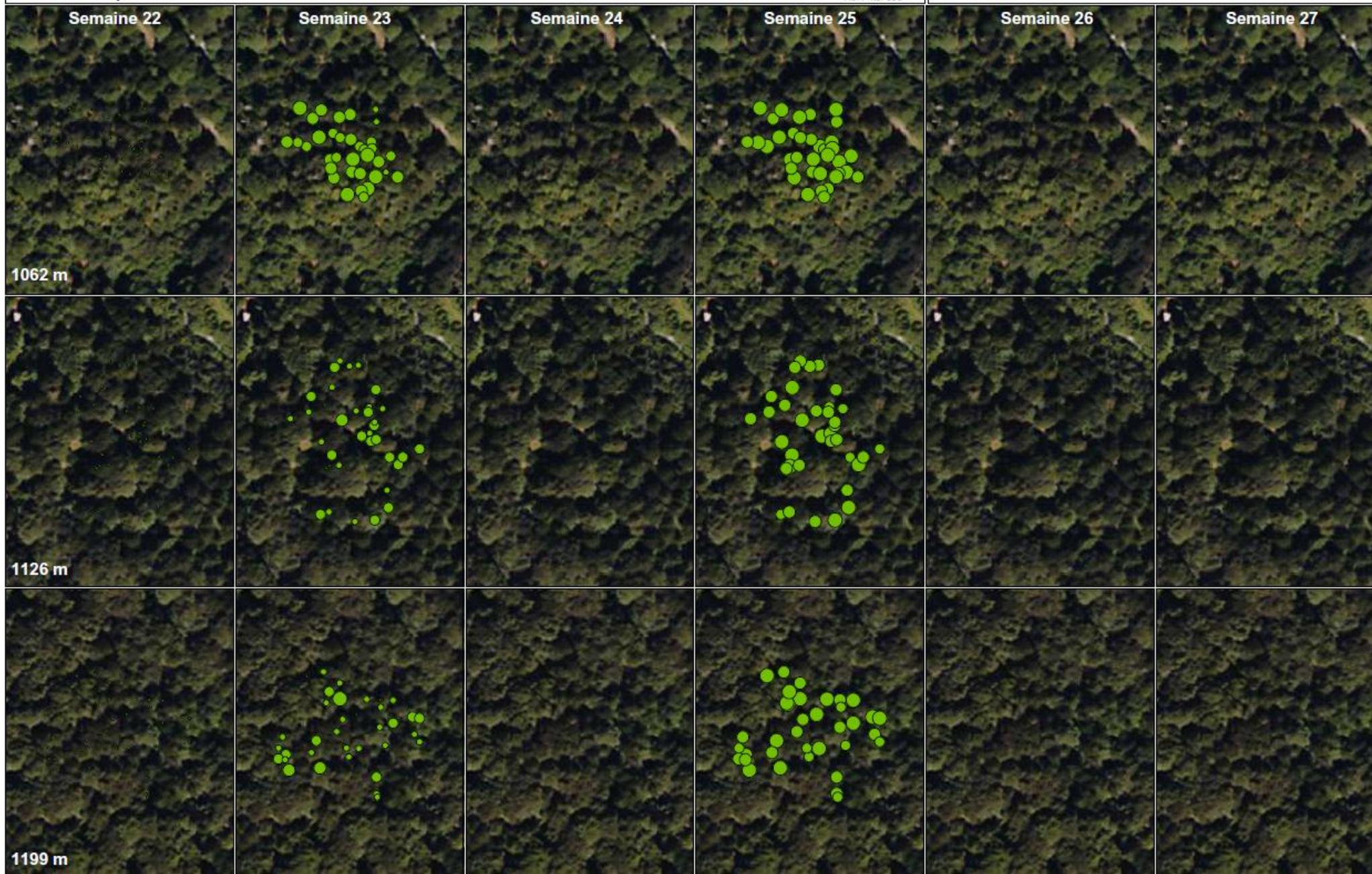
Année : 2014
Site : Eaux-Bonnes (64)
Essence : Sapin

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

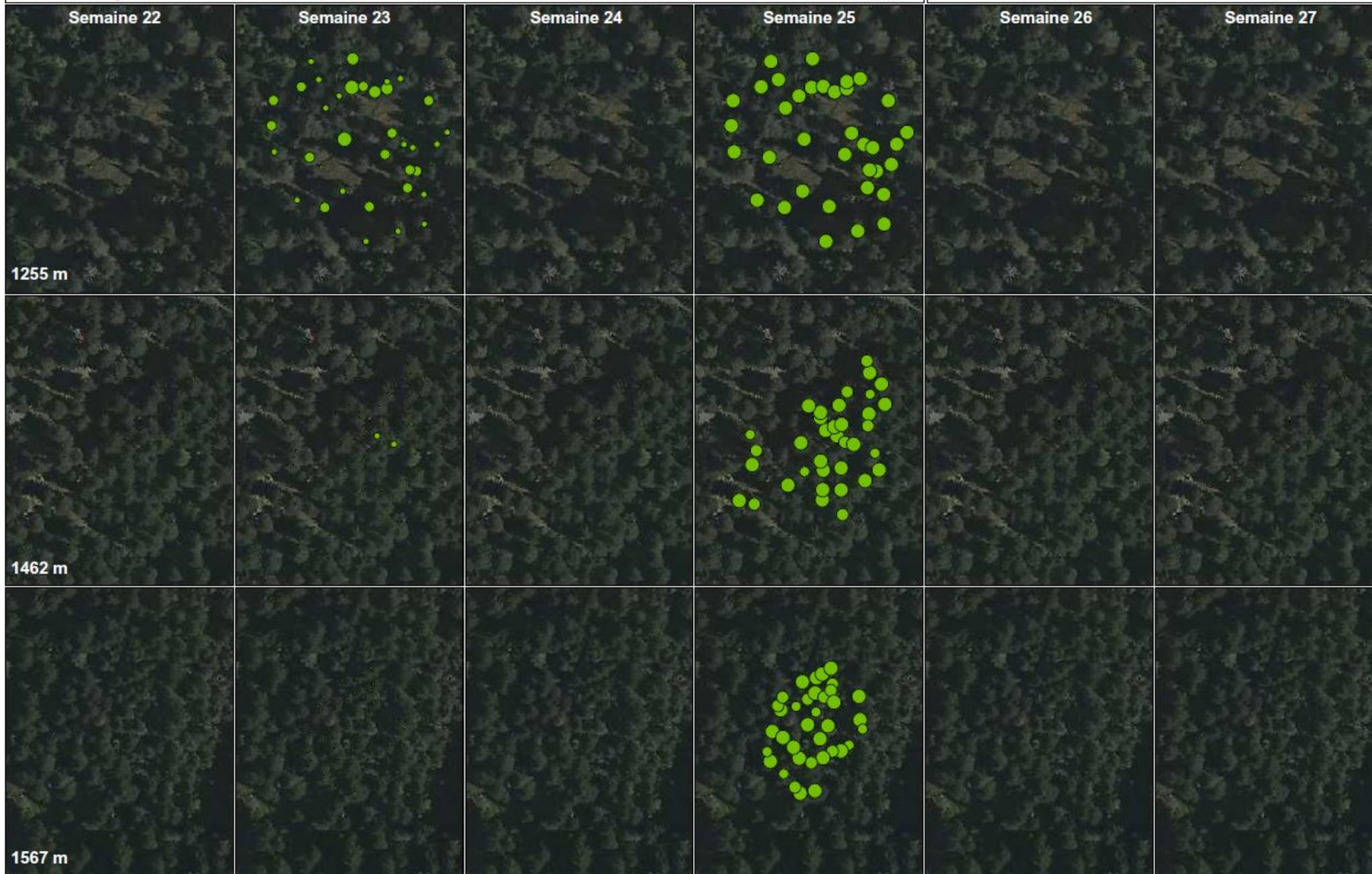
Année : 2014
Site : Saint-Béat (31)
Essence : Sapin

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

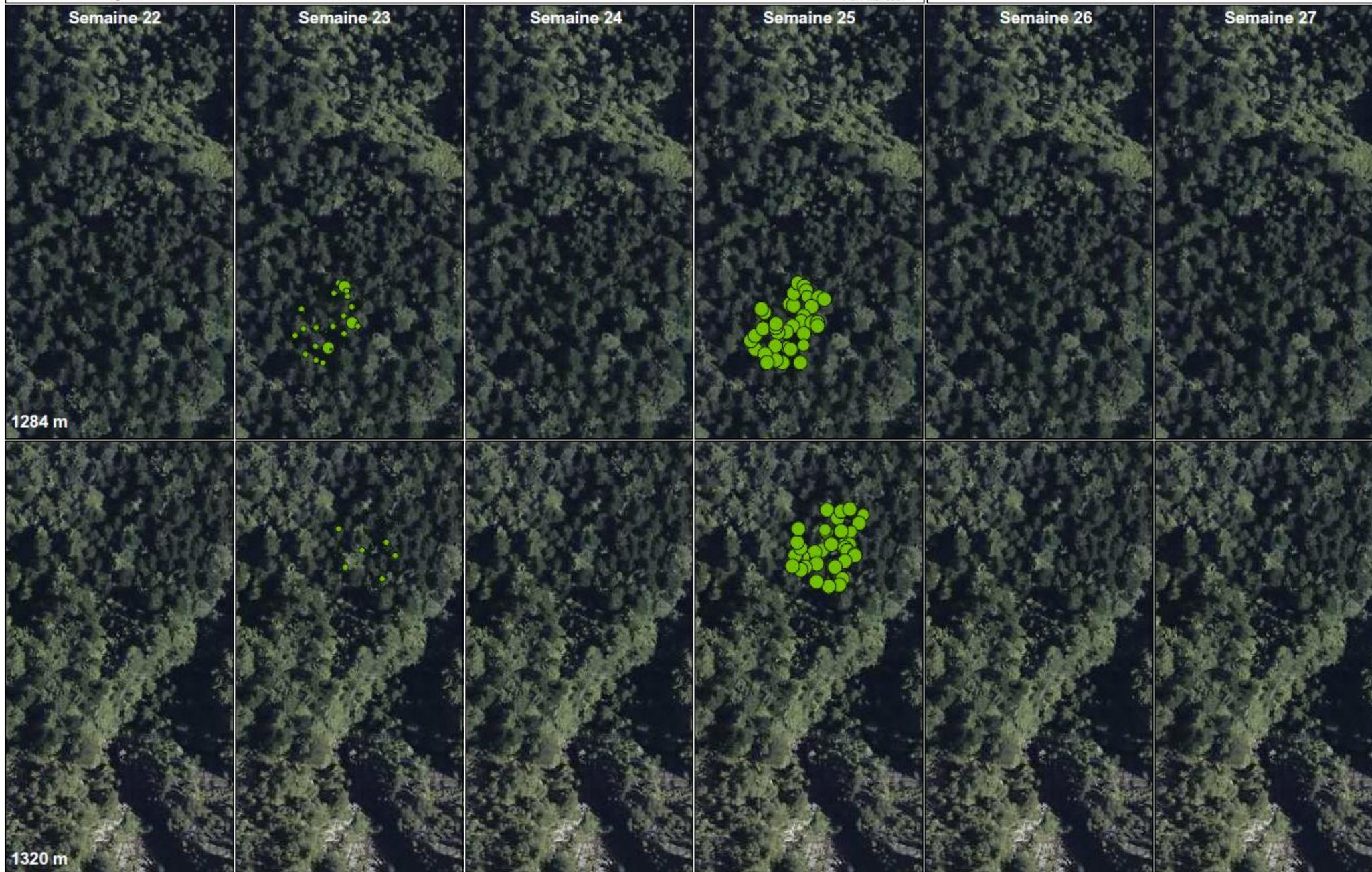
Année : 2014
Site : Ustou (09)
Essence : Sapin

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

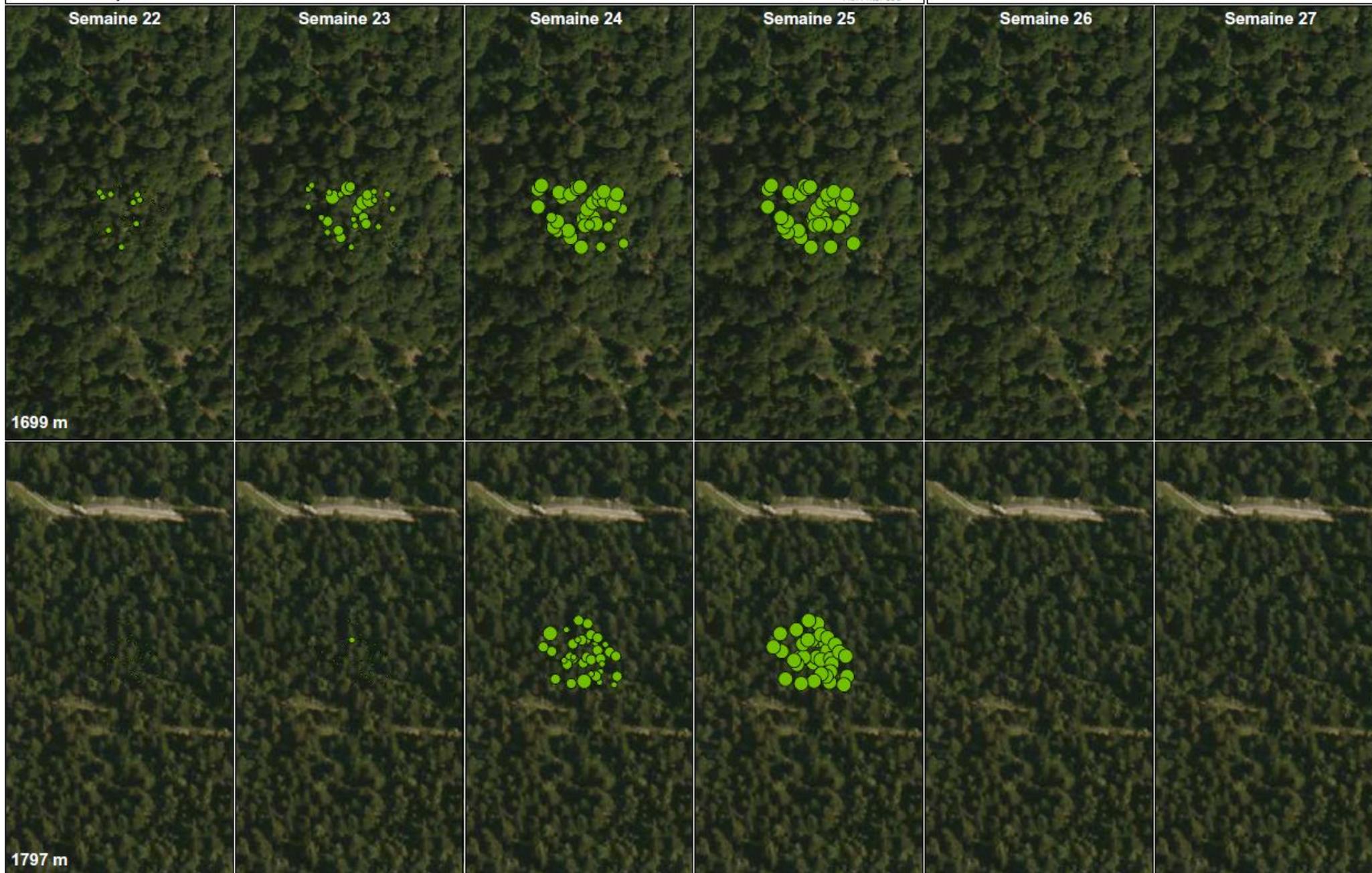
Année : 2014
Site : Py (66)
Essence : Sapin

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



Evolution du débourrement

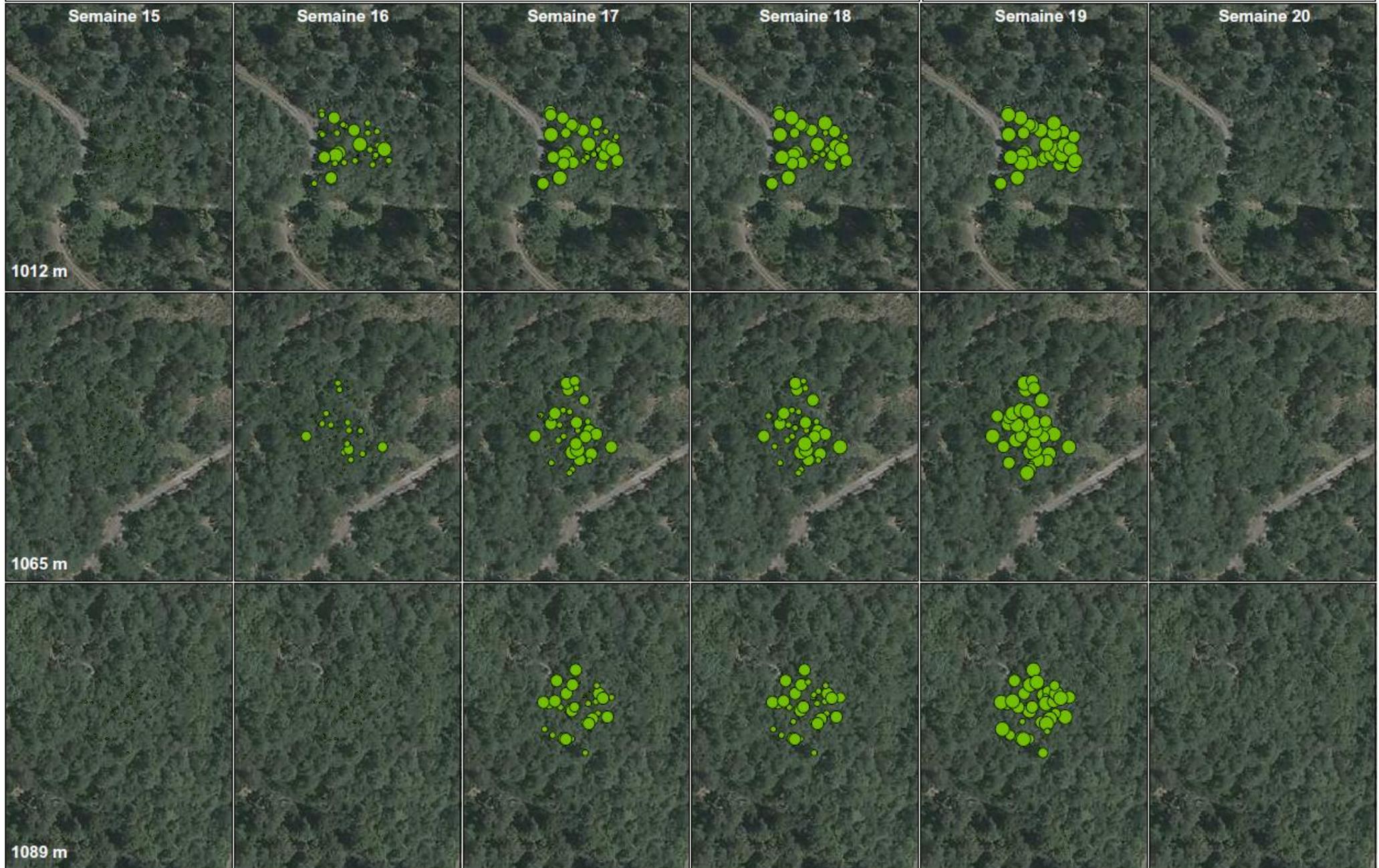
Année : 2014
Site : Saint-Béat (31)
Essence : Chêne

Juillet 2014
Sources :
Orthophoto - IGN
Phénologie - CRPF



Pourcentage de débourrement

- | | |
|------------|-----------|
| ● 80 à 100 | ● 10 à 25 |
| ● 45 à 80 | ● 1 à 10 |
| ● 25 à 45 | ● 0 à 1 |



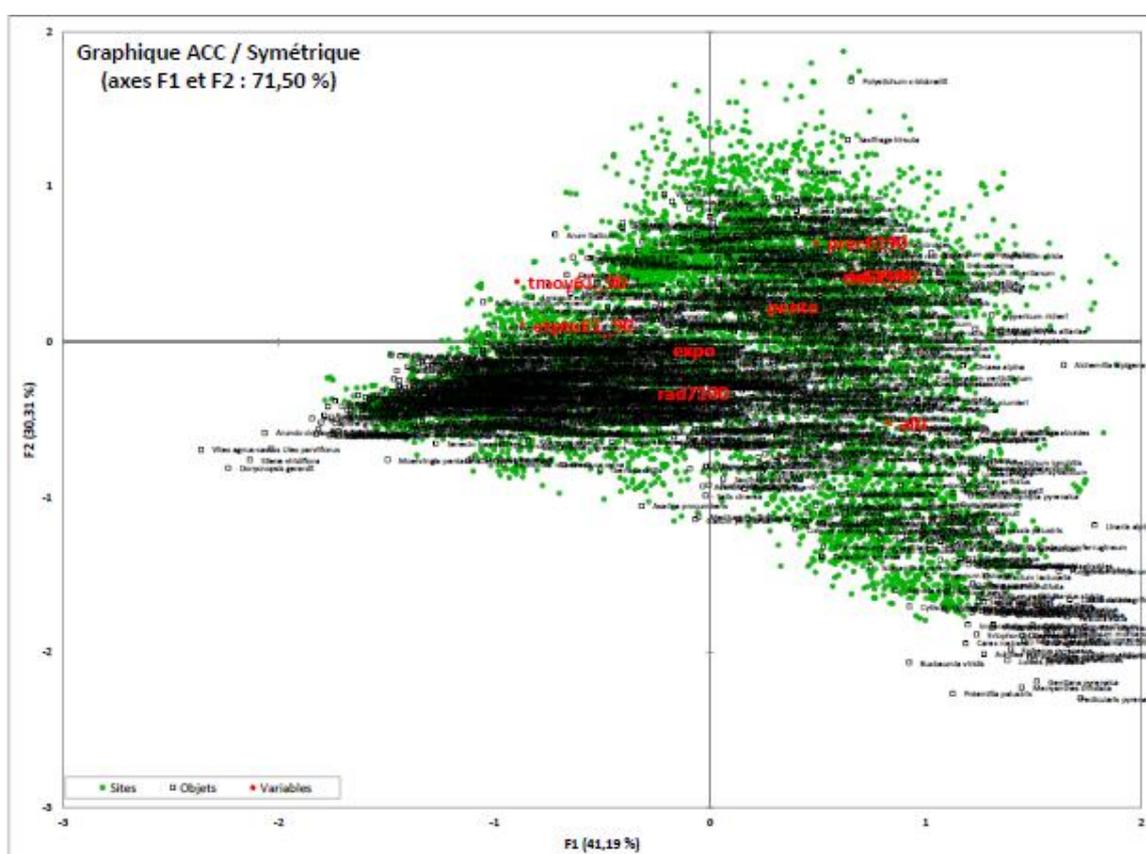
8.1 – Bilan des données des réseaux existants

Parmi les données déjà existantes, il est possible de valoriser les inventaires forestiers de chaque pays. Sont ainsi disponibles plus de 18 000 observations réalisées en France et en Espagne depuis le début des années 1990.

Ces données peuvent être analysées pour essayer de mettre en évidence de possibles évolutions des niches écologiques des espèces. Pour cela, les données doivent être classées en deux périodes : 1990-2000 et 2000-2010. Des comparaisons statistiques, par période, des paramètres écologiques pourront alors être réalisées afin de rechercher des différences significatives entre les données des deux périodes.

Le regroupement des données précises, qu'elles soient françaises ou espagnoles, ayant été relativement long, les traitements statistiques complets n'ont à ce jour pas été réalisés. Quoiqu'il en soit la base de données est constituée et peut servir d'état initial descriptif de la végétation pyrénéenne. Elle pourra être confrontée à échéance plus ou moins longue aux données futures concernant les espèces floristiques pyrénéennes.

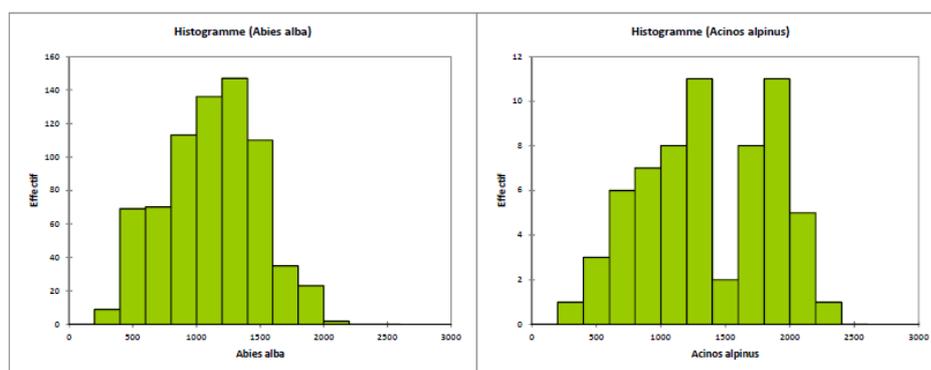
En outre trois analyses préliminaires ont été effectuées sur les données des Conservatoires Botaniques. Il s'agit dans un premier temps de l'étude de la dispersion des espèces en fonction de différents paramètres (pentes, exposition, altitudes, évapotranspiration, température, radiation, etc.). Ce travail a cherché les liens de corrélation entre ces différents paramètres et la présence des espèces. Ce travail a donné lieu à la réalisation d'un « nuage de points » permettant d'identifier les paramètres qui pourraient le mieux expliquer la présence de telle ou telle espèce sur les placettes de relevé. Il s'agit d'une analyse de corrélation et non une étude sur la causalité de cette répartition.



Sur la base de ces éléments nous avons ensuite cherché à classer les-dit paramètres en fonction des occurrences moyennes relevés sur les placettes. Nous avons pu ainsi créer un tableau synthétisant l'ensemble des moyennes des paramètres relevés sur les espèces, classées par gradient altitudinal décroissant.

	alti	de61_90	tmoy61_90	etptu61_90	prec6190	rad7100	ru6190	expo	pente
<i>Pedicularis pyrenaica</i>	2072,394	14,554	3,145	35,072	937,706	500159,351	14,550	136,072	24,088
<i>Senecio pyrenaicus</i>	2044,029	23,916	3,239	32,004	1002,471	437047,348	23,912	121,990	43,141
<i>Phyteuma hemisphaericum</i>	2031,632	19,482	3,320	33,572	974,911	464928,103	19,478	133,974	39,627
<i>Trifolium alpinum</i>	2016,339	16,840	3,378	34,745	987,432	482084,457	16,837	139,362	32,180
<i>Festuca eskia</i>	1987,333	15,405	3,422	35,400	1013,178	493384,509	15,401	174,628	42,381
<i>Primula integrifolia</i>	1981,000	21,821	3,457	32,995	1064,206	448779,196	21,817	119,591	37,131
<i>Vaccinium uliginosum</i>	1980,268	19,459	3,511	35,038	1019,217	471592,441	19,454	115,086	25,785
<i>Saxifraga geranioides</i>	1978,355	19,276	3,639	34,689	928,279	458041,075	19,271	117,217	36,499
<i>Sempervivum montanum</i>	1964,690	16,656	3,614	35,195	986,700	471050,589	16,653	154,217	33,764
<i>Meum athamanticum</i>	1962,200	16,016	3,646	36,796	973,440	495094,150	16,011	142,305	28,588
<i>Poa alpina</i>	1951,727	20,418	3,727	35,355	990,445	471069,406	20,414	146,935	39,190
<i>Gentiana pyrenaica</i>	1950,926	16,346	3,840	38,234	921,407	508929,575	16,342	155,883	20,208
<i>Luzula nutans</i>	1947,065	18,312	3,609	34,592	1016,272	464292,098	18,307	116,757	38,567
<i>Saxifraga aquatica</i>	1941,515	20,078	3,865	35,613	997,173	457635,225	20,073	129,381	33,398
<i>Pedicularis mixta</i>	1928,382	14,686	3,868	37,475	919,421	491757,517	14,682	140,514	26,264

Compte tenu que le nuage de point montre que l'altitude semble être un des paramètres déterminant dans la répartition des espèces, mais compte tenu que le tableau ci-dessus n'indique que l'altitude moyenne de chaque espèce, nous avons procédé à un dernier traitement analytique visant à illustrer sous la forme de diagrammes la répartition des espèces selon des gradients altitudinaux plus précis.



Ce travail permet de visualiser l'amplitude de la niche écologique de chaque espèce et donc d'identifier les espèces les plus sensibles (espèces

ayant un diagramme très resserré) de celles les moins sensibles (espèces ayant un diagramme relativement étalé), et de cibler les étages altitudinaux comptant les espèces risquant d'être le plus impactées par le changement climatique.

Les analyses précédemment évoquées pourraient être explorées à partir de la base des données regroupées à ce jour et à partir des premiers traitements effectués.

Il s'agit en effet d'une base de données considérable qui a été ainsi constituée. Les traitements poussés nécessitent des moyens informatiques non disponibles au sein du partenariat « Forêt » de l'OPCC ainsi que des investissements en moyens humains importants.

Ces données n'en restent pas moins ponctuelles (observation en un lieu donné à un instant t) et peu de données floristiques existent sur placettes permanentes, le long de transects. Ce type de dispositif a ainsi été installé dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique, sur deux zones de référence (Saint-Béat en Haute-Garonne et Py dans les Pyrénées-Orientales). Pour plus d'informations, se référer au paragraphe 8.2.

8.2 – Données complémentaires

Ces dispositifs de placettes complémentaires aux données existantes ont été implantés de la sorte. Sur chaque zone de référence (Saint-Béat et Py) ont été établis, en versant nord, deux transects, dans le sens de la plus grande pente, d'une dizaine de placettes chacun. Ces placettes sont réparties tous les 100 mètres de dénivelé, de sorte à disposer de descriptions relativement précises des écosystèmes forestiers en fonction des étages de végétation (voir tome II paragraphe 5.2.3).

Pour chacun des sites, une analyse phytosociologique sommaire a ensuite été réalisée à partir des données concaténées. Les résultats sont présentés ci-après au travers des tableaux phytosociologiques. Les espèces y ont été classées en fonction de leurs affinités écologiques et certains groupements végétaux apparaissent.

A terme plus ou moins lointain (10, 20, 50 ans...), les tableaux phytosociologiques pourront être utilisés de diverses manières : d'une part, pour tenter de déceler des évolutions potentielles de placettes vers d'autres écosystèmes et d'autre part, pour un écosystème donné, tenter d'en cibler les changements de composition spécifique, ou les deux...

Site de Saint-Béat (31)

Les placettes les plus basses du premier transect (BEA01, 02 et 03) se distinguent par un premier sous-ensemble floristique d'espèces de tillaie-érablaie sur pente forte. Ces espèces restent cependant peu représentées et mélangées au cortège de hêtraie prépondérante sur ces placettes.

Le second sous-ensemble correspond justement au cortège floristique typique de la hêtraie (BEA01, 02, 03, 04, 05, 11 et 12). Bien présent jusqu'à 1050 à 1100 mètres d'altitude, il est ensuite complété par des espèces à tendance plus montagnarde, dans un cortège de hêtraie-sapinière, jusqu'à environ 1200 mètres d'altitude (BEA06, 07 et 13).

Au-delà, le sapin devient majoritaire par rapport au hêtre ; cet étage de sapinière-hêtraie est intermédiaire entre la sapinière pure et la hêtraie-sapinière. Un certain nombre d'espèces se retrouvent ainsi dans ces deux sous-ensembles floristiques.

D'environ 1200 à 1500 mètres d'altitude, la sapinière pure domine avec un cortège d'espèces végétales qui lui est propre et que l'on retrouve peu à des altitudes moindres. Cet étage correspond aux placettes BEA08, 09, 10, 14, 15 et 16.

Enfin, au-delà de 1500 mètres d'altitude (BEA17 et 18), la sapinière s'éclaircit en raison des conditions climatiques contraignantes. Correspondant à l'étage subalpin, certaines espèces peu présentes à des altitudes inférieures semblent typiques de cet écosystème forestier.

D'autres espèces sont quant à elle trop peu nombreuses pour être classées dans un des cortèges évoqués précédemment au regard des relevés effectués. Certaines, au contraire, semblent très présentes quel que soit l'étage de végétation et ne permettent pas de distinguer le type d'écosystème forestier.

1	1									<i>Sorbus aucuparia</i>	Arbustive	Sapinière	
1	1	1	1	+	1	1				<i>Agrostis capillaris</i>	Herbacée		
1		1								<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Herbacée		
1	1	1	1	1	+					<i>Blechnum spicant</i>	Herbacée		
+					1					<i>Calluna vulgaris</i>	Herbacée		
1	1	1	1		1					<i>Circaea alpina</i>	Herbacée		
			1	+	+					<i>Cirsium palustre</i>	Herbacée		
1	1	1	1	+	1	+				<i>Digitalis purpurea</i>	Herbacée		
1	1	1	1	1	1	+	1			+ <i>Dryopteris carthusiana</i>	Herbacée		
1	1		1							<i>Galeopsis tetrahit</i>	Herbacée		
1	1	1	1	1	1	1	1	1		<i>Galium rotundifolium</i>	Herbacée		
1	1	1	1	1	1	1	1	+		<i>Galium saxatile</i>	Herbacée		
+	1									<i>Gallium mollugo</i>	Herbacée		
		1	1	1	1	1				<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	Herbacée		
1	1	1								+ <i>Hieracium pilosella</i>	Herbacée		
1	1			+						<i>Hieracium vulgatum</i>	Herbacée		
1	1	1								<i>Hypericum maculatum</i>	Herbacée		
			+	1	1					<i>Lamiastrum galeobdolon</i>	Herbacée		
			1	1	1					<i>Lysimachia nemorum</i>	Herbacée		
+		1			1				+	<i>Mycelis muralis</i>	Herbacée		
	1	1	1	1	1				+	<i>Neckère crispée</i>	Herbacée		
+	1	1	1	1	1					<i>Oreopteris limbosperma</i>	Herbacée		
										<i>Paris quadrifolia</i>	Herbacée		
	1	1	1							<i>Plagiomnium affine</i>	Herbacée		
1	1	1								<i>Poa chaixii</i>	Herbacée		
		1	1	1	1	1				<i>Polygonatum verticillatum</i>	Herbacée		
		1	1	1						<i>Potentilla erecta</i>	Herbacée		
1	1	1	1	1	1		+			<i>Prenanthes purpurea</i>	Herbacée		
	1	1	+							<i>Rhizomnium punctatum</i>	Herbacée		
		+								<i>Rhododendron ferrugineum</i>	Herbacée		
+	1		+						1	<i>Rhytiadelphus loreus</i>	Herbacée		
1	1	+	1	1						<i>Rubus idaeus</i>	Herbacée		
		1								<i>Soldanella alpina</i>	Herbacée		
			+	1	+					<i>Solidago virgaurea</i>	Herbacée		
1	+	1	1	+	1	1			+	<i>Stellaria holostea</i>	Herbacée		
1	+	1								<i>Stellaria nemorum</i>	Herbacée		
1	1	1	1	1	1	1			1	<i>Thuidium tamariscinum</i>	Herbacée		
1	+									<i>Homogyne alpina</i>	Herbacée	Sapinière subalpine	
1		1								<i>Omalotheca sylvatica</i>	Herbacée		
+	1	1								<i>Ranunculus platanifolius</i>	Herbacée		
+										<i>Scilla verna</i>	Herbacée		
1	1	1			1	1	1	1	1	1	<i>Anemone nemorosa</i>	Herbacée	Ubiquiste
1	1	1	1	1	1	+	1	+	1	1	<i>Athyrium filix-femina</i>	Herbacée	
+	1	1	1				1	1	+	1	<i>Cardamine flexuosa</i>	Herbacée	
1	1	2	1	1	+	1		1	1	+	<i>Deschampsia flexuosa</i>	Herbacée	
		+	1	1	1	+	+	1	1	1	<i>Dryopteris filix-mas</i>	Herbacée	
		1	1	1	1	+	1	1	1		<i>Epilobium montanum</i>	Herbacée	
+		1	+	1	+	+	1	1		2	<i>Galium odoratum</i>	Herbacée	
		1	1	1				1	1	+	<i>Melica uniflora</i>	Herbacée	

1	1	1	1	1	1	1	+	1	2	1	1	1	1	1	+	Oxalis acetosella	Herbacée		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	+			1	1	1	+	1	Polytrichum formosum	Herbacée	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	+	1	Rubus fruticosus	Herbacée	
1		1	1	1	+	1	1	1	+		1	1	1	1	+	+	Veronica officinalis	Herbacée	
1	1	1	1	1	1		1	+	+	+	1	1	1	1	+	+	Viola reichenbachiana	Herbacée	
				1						1							Betula pendula	Arborée	
											1						Fraxinus excelsior	Arborée	
												1					Prunus avium	Arborée	
																+	Daphne laureola	Arbustive	
																+	Sorbus aria	Arbustive	
															1		Alliaria petiolata	Herbacée	
															1		Aquilegia vulgaris	Herbacée	
1				+													Arabis sp.	Herbacée	
	1									1						+	Asplenium trichomanes	Herbacée	
															1		Bazzania trilobata	Herbacée	
1								+		1	+				1		Brachypodium sylvaticum	Herbacée	
																+	Carex flacca	Herbacée	
											1	1					Carex muricata	Herbacée	
+																	Carex pallescens	Herbacée	
1																	Carex pilulifera	Herbacée	
																+	Carex remota	Herbacée	
																	Carex sp.	Herbacée	
											1	1	1	1	1		Carex sylvatica	Herbacée	
											1	1					Carex umbrosa	Herbacée	
																	Cerastium sp.	Herbacée	
+																+	Cornus sanguinea	Herbacée	
																	Cruciata glabra	Herbacée	
																	Cytisus scoparius	Herbacée	
																1	Daphne laureola	Herbacée	
																+	Dicranella heteromalla	Herbacée	
																+	Dryopteris dilatata	Herbacée	
																+	Euonymus europeus	Herbacée	
1	1																Festuca heterophylla cf	Herbacée	
																	1	Fragaria vesca	Herbacée
																	Galium aparine	Herbacée	
																	Galium sylvaticum	Herbacée	
																1	Geranium robertianum	Herbacée	
																+	Geum urbanum	Herbacée	
																	Hypericum androsaemum	Herbacée	
																	Hypericum pulchrum	Herbacée	
																+	Ilex aquifolium	Herbacée	
																	1	Juncus effusus	Herbacée
																	1	Lapsana communis	Herbacée
																	+	Lathraea clandestina	Herbacée
																	1	Luzula forsteri	Herbacée
1																	1	Luzula forsteri cf	Herbacée
																	1	Millium effusum	Herbacée
																	+	Pellia epiphylla	Herbacée
+																		Phyteuma pyrenaicum	Herbacée

Peu fréquente

		+	1	1	+ 1	Plagiochila asplenioides	Herbacée
					1	Plagiochila asplenioides cf	Herbacée
		+				Plagiomnium undulatum	Herbacée
+	1	+			+	Poa trivialis	Herbacée
			+	+		Polygala serpyllifolia	Herbacée
				1	1	Polypodium vulgare	Herbacée
				1	1	Polystichum setiferum	Herbacée
					1	Potentilla sterilis	Herbacée
				1		Primula elatior	Herbacée
				+		Pteridium aquilinum	Herbacée
		+	1	+	+	Ranunculus sp.	Herbacée
	+	+			1	Rhytiadelphus triquetrus	Herbacée
					1	Rosa arvensis	Herbacée
			1			Sanicula europaea	Herbacée
	+		+	+	+	Taraxacum officinale	Herbacée
	+	+			1	Teucrium scorodonia	Herbacée
		1				Tussilago farfara	Herbacée
				+		Viola canina	Herbacée

Site de Py (66)

Sur ce site, les placettes ont été installées à des altitudes bien supérieures à celles du site de Saint-Béat, ce qui explique que l'on retrouve uniquement les cortèges supérieurs du site de Saint-Béat. En revanche, ces placettes complètent la toposéquence pyrénéenne en décrivant la composition des cortèges forestiers à l'étage subalpin.

Les placettes PY01, 02 et 03, entre 1300 et 1500 mètre d'altitude, correspondent à la sapinière avec le cortège d'espèces qui lui est propre. Si l'on retrouve des espèces déjà citées sur le site de Saint-Béat, certaines espèces ne sont présentes que sur l'un ou l'autre des deux sites. Ces spécificités s'expliquent du fait du contexte géographique avec des espèces que l'on retrouve de manière plus ou moins importante en fonction des localités.

Au-delà de 1500 mètres d'altitude et jusque 1900 mètres, un cortège floristique semblant correspondre à la sapinière subalpine semble s'exprimer (PY04, 05, 06, 10, 11, 12 et 13). En outre entre 1900 et 2000 mètres, les placettes (PY07, 08 et 14) intermédiaires entre deux écosystèmes (sapinière et pineraie). Un certain nombre d'espèces présentes tant dans la sapinière que dans la pineraie semble toutefois plus présentes sur ces trois placettes.

Enfin, au-delà de 2000 mètres d'altitude, et jusqu'à la limite avec l'étage alpin, vers 2200 mètres, le pin à crochets domine la strate arborée. Dans ce milieu, plus ou moins ouvert, se développe un cortège d'espèces spécifiques dont des graminées qui constituent les landes et pelouses d'altitude.

Sur ce site également, certaines espèces semblent ubiquistes et sont présentes quel que soit l'étage de végétation, et ne permettent pas de distinguer le type d'écosystème forestier. Les espèces qui n'ont pas été déterminées précisément ou que l'on qualifiera de rares car peu échantillonnées ont été placées en fin de tableau.

		1	1	1	1	1	2	2	1	1	Abies alba	Arbustive
		1	1						1	1	Betula pendula	Arbustive
		1						1	1	1	Juniperus communis	Arbustive
		1	1								Sorbus aucuparia	Arbustive
		+				1			1	1	Epilobium montanum	Herbacée
			1			1			1	1	Hypericum maculatum	Herbacée
				1			1		1		Lathyrus montana	Herbacée
					1	1	1	1	1	1	Moehringia trinervia	Herbacée
			1		1	1	1	1	1		Polygonatum verticillatum	Herbacée
					1			1	1	1	Polypodium vulgare	Herbacée
		+		1					1		Polystichum lonchitis	Herbacée
			1						1	1	Ranunculus nemorosus	Herbacée
				1	1					1	Ranunculus platanifolius	Herbacée
		+									Sorbus aucuparia	Herbacée
		1	1						1	1	Viola rachenbachiana	Herbacée
1			1						1	1	Achillea millefolium	Herbacée
+	1	1	1	1	1		1	1	1	1	Cruciata glabra	Herbacée
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Hieracium murorum	Herbacée
		1	1	1	1					1	Hypericum montanum	Herbacée
	1	1	1	1	1		+	1			Melampyrum pratense	Herbacée
	1	1	1	1	2	1		1	1	1	Poa chaixii	Herbacée
+		1	1	1	1	1	1	1	1		Prenanthes purpurea	Herbacée
					1						Trollius europaeus	Herbacée
	+	1	1	1	1			1	1	1	Veratrum album	Herbacée
		1	1	1	1					1	Veronica chamaedrys	Herbacée
		1	1	1	1	1	1	1	1	+	Veronica officinalis	Herbacée
3	3	2	1	2	3	3		3	2	1	Pinus uncinata	Arborée
1	1	2	1	1	1			1			Pinus uncinata	Arbustive
			1	1	1	1					Ajuga pyramidalis	Herbacée
1	1						+				Alchemilla saxatilis	Herbacée
	1		1	1	1	1				1	Galium verum	Herbacée
	1										Gentiana acaulis	Herbacée
					+	1	2				Gentiana lutea	Herbacée
	1	2	1	1	1	1	1	1			Homogyne alpina	Herbacée
		1	1							1	Leontodon hispidus	Herbacée
	1										Leontodon pyrenaicus	Herbacée
2	2	2	1								Nardus stricta	Herbacée
1		1									Pedicularis pyrenaica	Herbacée
1	2	1	1	1	2				1	1	Phleum pratense	Herbacée
1	1	1									Saxifraga geranioides	Herbacée

Sapinière subalpine

Pineraie de pin à
crochets à
rhododendron

1	1									Sempervivum montanum	Herbacée				
1	1	1	1	1	1	+				Trifolium alpinum	Herbacée				
1	1		1							Vaccinium uliginosum	Herbacée				
	2		2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	Deschampsia flexuosa	Herbacée
		1	1	1	1	1	+		1	1	1	1	1	Dryopteris filix-mas	Herbacée
1		1	1	1	1	1	1					1	1	Galium mollugo	Herbacée
1	1	1	1		1	1		1	+			1		Gymnocarpium dryopteris	Herbacée
1			1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	Hepatica nobilis	Herbacée
		1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	Luzula nivea	Herbacée
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	Oxalis acetosella	Herbacée
							1	4						Fagus sylvatica	Arborée
												5		Picea abies	Arborée
												1		Corylus avellana	Arbustive
												1		Cytisus oromediterraneus	Arbustive
								1						Fagus sylvatica	Arbustive
							1		1					Lonicera nigra	Arbustive
												1		Lonicera sp.	Arbustive
												1		Quercus petraea	Arbustive
												1		Rosa sp.	Arbustive
												1		Sorbus aria	Arbustive
		1		1										Adenostyles alliariae	Herbacée
									1					Agrostis capillaris	Herbacée
												1		Agrostis sp	Herbacée
		1												Alchemilla flabellata	Herbacée
			1									1	1	Alchemilla sp.	Herbacée
				1										Alchemilla xanthochlora	Herbacée
				1	1							1		Anthoxanthum odoratum	Herbacée
		1		1		1								Apiacée sp.	Herbacée
												1		Asplenium sp.	Herbacée
													1	Calamagrostis arundinacea	Herbacée
1	1		+	1	1		1	1				1		Carex sp.	Herbacée
												1	1	Cirsium sp.	Herbacée
												1	1	Cystopteris fragilis	Herbacée
												1		Cytisus purgans	Herbacée
												2		Dactylis glomerata	Herbacée
													+	Dactyloriza sp.	Herbacée
												1	1	Dianthus sp.	Herbacée
				1	1									Doronicum austriacum	Herbacée
					1	1								Epilobium angustifolium	Herbacée
												1	1	Epipactis sp.	Herbacée

Ubiquiste

Peu fréquente

2	1	4	2		1	1	Festuca sp.	Herbacée
					2		Galeopsis tetrahit	Herbacée
						1	Galium aparine	Herbacée
						+	Genistella sagittalis	Herbacée
					1		Lathyrus sp	Herbacée
			1			1	Lotus sp.	Herbacée
		1	1	1			Luzula campestris	Herbacée
						1	Luzula multiflora	Herbacée
		1					Moneses uniflora	Herbacée
					1		Myosotis scorpioides	Herbacée
			1	1		1	Myosotis sp.	Herbacée
						1	Phyteuma sp.	Herbacée
					1		Phyteuma spicatum	Herbacée
						1	Plantago lanceolata	Herbacée
						1	Plantago media	Herbacée
						+	Plathantera chlorantha ou bifolia	Herbacée
						1	Poa nemoralis	Herbacée
		3				1	Poa sp.	Herbacée
						1	Poa trivialis	Herbacée
						1	Polygala sp.	Herbacée
						1	Prunella grandiflora	Herbacée
			1				Pyrola minor	Herbacée
		1					Ranunculus pyrenoeus	Herbacée
	+		1	+	1		Ranunculus sp.	Herbacée
					1		Rhinanthus sp.	Herbacée
						1	Rosa sp.	Herbacée
							Rubus idaeus	Herbacée
							Rumex arifolius	Herbacée
						1	Rumex sp.	Herbacée
						1	Silene nutans	Herbacée
			1	1			Solidago virgaurea	Herbacée
						1	Sorbus aria	Herbacée
			1	1		1	Taraxacum sp.	Herbacée
						1	Trifolium pratense	Herbacée
						1	Trifolium sp.	Herbacée
						1	Vaccinium myrtillus	Herbacée
		1	1		1	1	Viola sp.	Herbacée

8.3 – Lien avec la télédétection

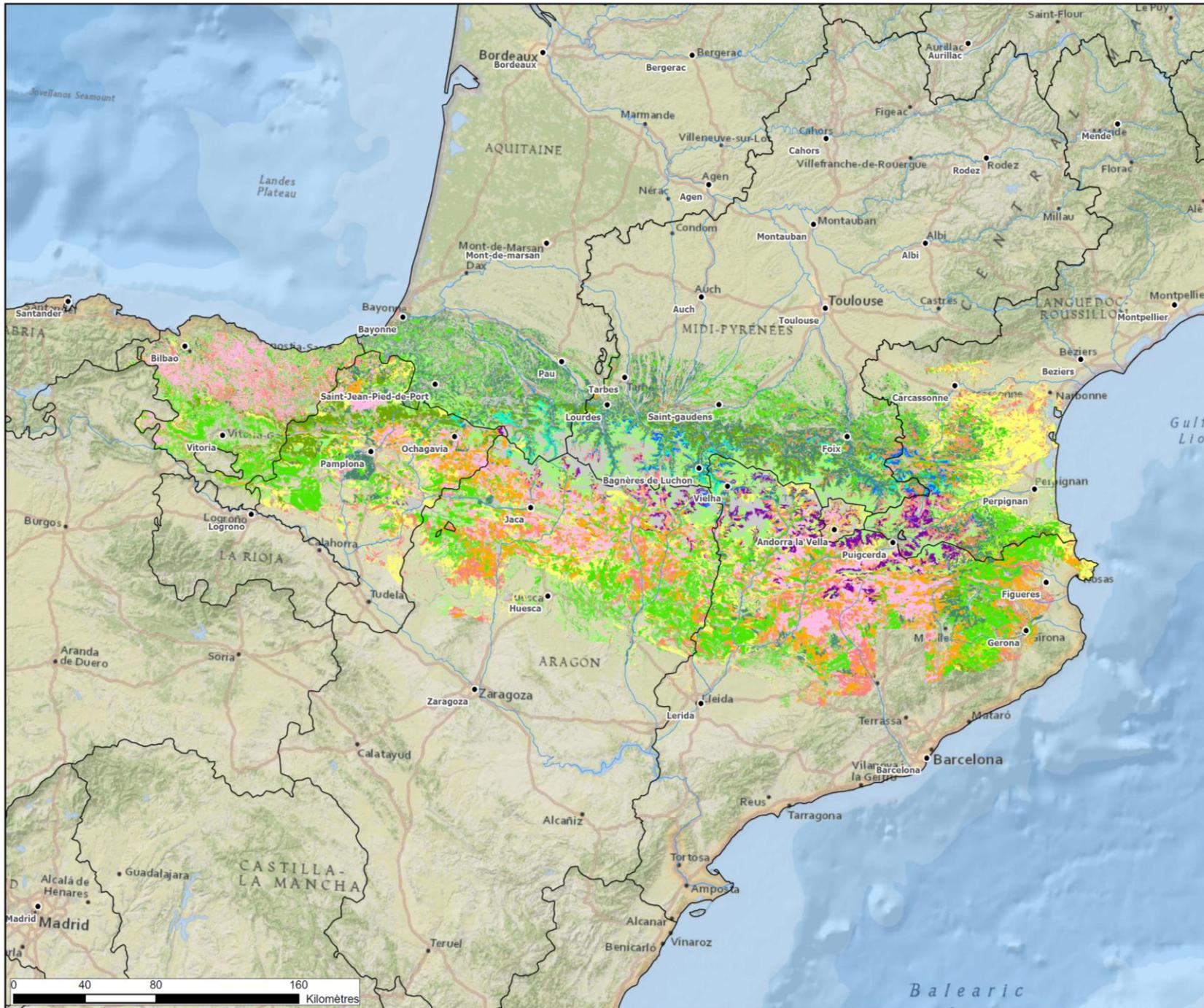
L'intérêt du suivi de la végétation quant aux changements climatiques a déjà été abordé. Ce suivi peut prendre plusieurs formes, comme le suivi de placettes d'inventaires évoqué précédemment. A plus grande échelle, la télédétection peut laisser entrevoir des possibilités intéressantes quant à un suivi global de la végétation sur la chaîne des Pyrénées.

L'analyse des images satellites permet aussi d'envisager d'établir **la nature d'occupation des sols** au moyen d'algorithmes de calculs sur les images collectées. En effet, à partir des images brutes, divers indices de reprise de végétation ou autre peuvent être calculés pour chaque pixel de l'image. Ces résultats peuvent actuellement être obtenus en routine.

Il convient alors de caler la réponse de ces divers indices par rapport à l'occupation effective des sols. Il faut pour cela pouvoir disposer d'une base de données des écosystèmes en place à l'échelle des Pyrénées. L'École d'Ingénieurs de Purpan (EIP) s'est ainsi attachée à regrouper les données des inventaires forestiers nationaux au sein d'une même base de données. Ont été regroupées les données cartographiques espagnoles, françaises et andorranes. Un travail d'harmonisation a également été nécessaire entre les données des trois pays.

Le résultat, appelé pour l'occasion CARTOFOR, est présenté par la carte ci-dessous, qui distingue les principales formations forestières en fonction de l'essence dominante.

Pour plus d'informations concernant la méthode de réalisation de cette carte, il est possible de se référer aux documents produits par l'école d'Ingénieurs de Purpan, notamment le document intitulé « OPCC, cartographie des formations forestières des Pyrénées à partir de série temporelles MODIS – Création d'une carte forestière de référence » (EIP, 2014).



OPCC Formations forestières des Pyrénées

Typologie GEIE - V1



Typologie des formations forestières

- Châtaignier
- Chênes
- Hêtre
- Autres feuillus
- Pin à crochets (*P. uncinata*)
- Autres pins, conifères
- Pins noirs (*P. nigra*),
sylvestre (*P. sylvestris*),
de Monterey (*P. radiata*)
- Sapin pectiné
- Forêt mixte
(feuillus/conifères ou
feuillus caducs et persistants)
- Forêt mixte : hêtre, sapin
- Garrigues, broussailles,
formations arbustives
- Pelouses, landes,
formations diverses
- Sol nu, rochers, neige,
glace, eau

ONF DTSO - NP - Février 2014

6 - BIBLIOGRAPHIE

- BODIN J., 2010, *Observed changes in mountain vegetation of the Alps during the XXth century – Role of climate and land-use changes*, Thèse de doctorat binational, Universités de Nancy et Leibniz, 210 p.
- CRPF Nord Pas-de-calais Picardie, *L'observatoire régional des écosystèmes forestiers de Nord Pas-de-Calais Picardie*, INTERREG IV A 2 Mers, 2 p.
- Département de la Santé des Forêts, 2011, *Manuel de notation des dommages forestiers (symptômes, causes, état des cimes) du réseau systématique de suivi des dommages forestiers*, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 48 p.
- DRENOU C., 2012, *La méthode ARCHI – Innovation et perspective en forêt*, Forêt-Entreprise, n°203, p. 29-31.
- Ecole d'Ingénieurs de Purpan, 2014 – *OPCC, cartographie des formations forestières des Pyrénées à partir de série temporelles MODIS – Création d'une carte forestière de référence*, 51.
- GUYON D., GUILLOT M., VITASSE Y., CARDOT H., HAGOLLE O., DELZON S. et WIGNERON J.P., 2011, *Monitoring elevation variations in leaf phenology of deciduous broadleaf forests from SPOT/VEGETATION time-series*, Remote sensing of environment, vol. 115, p. 615-627.
- LENOIR J., GEGOUT J.C., MARQUET P.A., DE RUFFRAY P. et BRISSE H., 2008, *A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century*, Science, vol. 320, p. 1768-1771.
- Office National des Forêts, 2007, *Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques*, Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°3, 102 p.
- Office National des Forêts, 2008, *15 ans de suivis des écosystèmes forestiers – Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR*, Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n°4, 166 p.
- Office National des Forêts – Agence interdépartementale des Alpes-Maritimes et du Var, 2012, *Observatoire du dépérissement des forêts des Alpes-Maritimes – Synthèse de la campagne d'observations 2011*, Conseil général des Alpes-Maritimes, 86 p.
- PRUDENT RICHARD G., 2006, *Recensement des études concernant les effets du climat et du réchauffement climatique sur les espaces de montagne en France métropolitaine*, ONERC, Ministère de l'écologie et du développement durable, Note technique n°4, 52 p.
- RENECOFOR, 2009, *Manuel de référence n°12 pour les observations phénologiques*, Deuxième version, Office National des Forêts, 27 p.
- ROSA J., RIOU-NIVERT Ph. et PAILLASSA E., 2011, *Guide de l'expérimentation forestière – Principes de base & Prise en compte du changement climatique*, CNPF-IDF, RMT AFORCE, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 224 p.
- VITASSE Y., 2005, *Mesures et modélisation des dates de débourrement des bourgeons de six espèces ligneuses le long d'un gradient altitudinal dans les Pyrénées*, Mémoire de MASTER II, Université de Bordeaux 1 – UFR des Sciences Biologiques, 49 p.
- VITASSE Y., 2009, *Déterminismes environnemental et génétique de la phénologie des arbres de climat tempéré – Suivi des dates de débourrement et de sénescence le long d'un gradient altitudinal et en tests de provenances*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 410 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE DE ESPAÑA, *Las Redes Europeas de Seguimiento de Bosques (Nivel I y Nivel II)*

GEIE FORESPIR et al., 2007, *Livre Blanc des Forêts Pyrénéennes*, Projet INTERREG IIIA "SILVAPYR 2006", 80 p.