



# ETUDE DE LA SENSIBILITE DU CHENE LIEGE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN CORSE

Centre Régional de la Propriété Forestière de Corse

Dispositif ADEVBOIS

Financé par la Direction Régionale de l'Agriculture de l'Alimentation et de la Forêt  
Arrêté n°2014-60031 du 15 décembre 2014





# Remerciements

---

Le Centre Régional de la Propriété Forestière de Corse tient à remercier pour sa participation l'ensemble des membres du Comité de Pilotage de l'étude sur la sensibilité du chêne liège au changement climatique : la Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt de Corse (DRAAF), l'Institut du Développement Forestier (IDF), l'Office du Développement Agricole et Rural de la Corse (ODARC), PEFC Corsica, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Corse (DREAL), l'Office National des Forêts (ONF), le Parc Naturel Régional de Corse (PNRC), les Directions Départementales des Territoires et de la Mer de la Haute-Corse et de la Corse-du-Sud (DDTM), l'Office de l'Environnement de la Corse (OEC), le Conservatoire Botanique National de Corse (CBNC), l'Université de Corse Pasquale Paoli, le CPIE-Centre Corse, l'ADEME, les Lycées Agricoles de Sartène et Borgo, la coopérative forestière (Silvacoop) et l'expert forestier.

Des remerciements plus particuliers sont adressés :

- à Jean LEMAIRE de l'IDF pour son appui technique et son expertise dans l'analyse et l'interprétation des résultats,
- A Renaud PIAZETTA pour ses données sur le liège et le changement climatique,
- A la DREAL et au CEN de Corse, pour leurs informations très utiles sur la tortue.



# Table des matières

---

1.	La place des subéraies dans la forêt Corse .....	10
2.	Problématiques et objectifs .....	15
3.	L’outil BioClimSol .....	17
4.	Méthodes et Protocole .....	19
4.1.	Détermination de l’aire de répartition du chêne liège sur le territoire corse .....	19
4.2.	Utilisation des données météorologiques : les différents modèles climatiques .....	21
4.3.	Stratification du territoire en trois classes de P-ETP0608 .....	23
4.4.	Détermination des placettes et échantillonnage .....	25
4.4.1.	Répartition des placettes .....	25
4.5.	Les données des placettes à collecter sur le terrain .....	28
4.5.1.	La notation du dépérissement .....	30
4.5.2.	Impacts sanitaires à identifier .....	34
4.6.	Traitement statistique .....	38
5.	Résultats et Analyses .....	40
5.1.	Données générales .....	40
5.1.1.	Les classes de diamètre .....	40
5.1.2.	L’exploitation du liège .....	41
5.1.3.	Les dépérissements .....	49
5.1.4.	Lien entre le diamètre des arbres et le nombre de levée de liège pour les chênes lièges exploités	59
5.1.5.	Lien entre l’âge du liège et sa croissance .....	59
5.2.	Un effet très fort de l’exploitation .....	60
5.3.	Un effet de l’emmaquisement .....	65
5.4.	Effet du bilan hydrique .....	69
6.	Carte de vigilance .....	70
7.	Propositions de recommandations sylvicoles .....	78
8.	Conclusions .....	89
	Bibliographie .....	92
	Annexes .....	94



# Table des illustrations

Figure 1 : Zones d'altitude de la région Corse et répartition du chêne liège .....	10
Figure 2 - Schéma des étages de végétation de la Corse, <i>Gamisans</i> .....	11
Figure 3 - Evolution du CO2 atmosphérique mondial au cours des trois derniers siècles .....	15
Figure 4 - Etapes du protocole BioClimSol .....	18
Figure 5 : Aire de répartition du chêne liège en Corse .....	20
Figure 6 : Précipitations annuelles moyennes sur la Corse 1981-2010 (Source : Météo France) .....	22
Figure 7 - Cartographie de la stratification de l'échantillonnage en trois classes de P-ETP spécifiques au chêne liège .....	24
Figure 8 - Répartition aléatoires des placettes selon la stratification P-ETPO608 .....	27
Figure 9 - Clé de détermination ARCHI pour le chêne .....	32
Figure 10 - Réduction de la ramification fine dans trois houppiers de chênes lièges .....	33
Figure 11 - Protocole d'attribution de la note DEPEFEU .....	33
Figure 12 - <i>Stereum hirsutum</i> sur un tronc .....	34
Figure 13 - <i>Ganoderma applanatum</i> .....	35
Figure 14 - <i>Trichaptum bifforme</i> .....	36
Figure 15 - Charbon de la mère sur du liège mâle .....	37
Figure 16 - Présence de platype sur du liège femelle .....	38
Figure 17 - Classes de diamètres moyens des placettes de chênes lièges inventoriées .....	40
Figure 18 – Répartition par placette du pourcentage de chênes levés pour le liège .....	41
Figure 19 - Répartition des placettes exploitées pour le liège .....	43
Figure 20 - Répartition des placettes en fonction de l'épaisseur en centimètre du liège femelle .....	44
Figure 21 - Répartition des placettes en fonction de l'épaisseur en centimètre du liège femelle dans la région de Porto-Vecchio .....	46
Figure 22 - Répartition des placettes en fonction de l'âge estimé du liège femelle .....	48
Figure 23 - Répartition des chênes lièges en fonction de leurs classes ARCHI et DEPEFEU .....	49
Figure 24 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges saines (classes 0 et 1 DEPEFEU) .....	51
Figure 25 - Zonage des placettes non saines sur la Corse .....	52
Figure 26 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges stressées (classe 2 DEPEFEU) .....	53
Figure 27 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges en dépérissements irréversibles (classe 3 DEPEFEU) .....	55
Figure 28 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges en descente de cime (classe 2 DEPEFEU) .....	56
Figure 29 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges résilientes (classe 2 DEPEFEU) .....	57
Figure 30 - Arbres stressés et dépérissants sur quatre placettes .....	58
Figure 31 - Epaisseur du liège en fonction de son âge pour chaque chêne liège des placettes inventoriées .....	59
Figure 32 - Répartition des classes de DEPEFEU en fonction du type de liège sur les placettes inventoriées .....	61
Figure 33 - Répartition des tiges blessées pour les chênes lièges exploités .....	62
Figure 34 - Répartition des tiges levées en fonction des levées et classes DEPEFEU .....	63
Figure 35 - Stratification des chênes lièges exploités en fonction du pourcentage du tronc blessé suite aux levées sur les placettes inventoriées .....	64
Figure 36 - Arbre blessé lors d'une levée de liège, placette région de Porto-Vecchio .....	65
Figure 37 - ANOVA des tiges femelles et mâles en fonction des classes DEPEFEU 2 et 3 et des classes de surface terrière du sous-étage des placettes inventoriées .....	66

Figure 38 – Répartition des placettes en fonction de la surface terrière des autres essences .....	68
Figure 39 - Placette envahie par le maquis dans la région du Taravo.....	68
Figure 40 - ANOVA des classes de surface terrière du sous-étage en fonction des classes DEPEFEU 2et 3 et du bilan hydrique ((P-ETP)+RU) des placettes inventoriées.....	69
Figure 41 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse ( <i>données AURITALIS 1980-2010</i> ) .....	71
Figure 42 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse dans le cas d'une augmentation de température de + 1°C ( <i>données AURITALIS 1980-2010</i> ).....	72
Figure 43 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse dans le cas d'une augmentation de température de +2°C ( <i>données AURITALIS 1980-2010</i> ).....	73
Figure 44 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse dans le cas d'une augmentation de température de +4°C ( <i>données AURITALIS 1980-2010</i> ).....	74
Figure 45 - Probabilité de dépérissement de la subéraie en fonction de la Réserve Utile minimale et du bilan hydrique (P-ETP) durant la période mai à septembre.....	75
Figure 46 - Bilan pédoclimatique .....	76
Figure 47 - Clé de détermination des indices compensatoires du climat .....	76
Figure 48 - Solutions pour limiter l'impact sur le dépérissement du chêne liège en Corse .....	78
Figure 49 - Hiérarchisation des principaux facteurs impliqués dans le processus de dépérissement d'après Manion (1981) adaptée aux conditions françaises (Landmann, 1994) et présentant la situation de nos facteurs de dépérissements (encadrés).....	78



## Liste des tableaux

Tableau 1- Données économiques de la filière liège en Corse.....	14
Tableau 2 - Différents types du protocole ARCHI .....	31



# 1. La place des subéraies dans la forêt Corse

D'une superficie de 872 608 ha, la Corse est recouverte par 507 000 ha de forêt, soit 48 % de la région selon la campagne d'inventaire 2009-2013 de l'IFN (Inventaire Forestier National), ce qui fait d'elle la plus boisée des îles de Méditerranée. La forêt privée quant à elle représente 405 000 ha du territoire, soit 80 % des forêts corses.

Le département de Corse-du-Sud a un taux de boisement moyen de 67 % supérieur à celui de la Haute-Corse qui est de 50 %. Par ailleurs on distingue la forêt de production des autres formations boisées, elle représente 398 000 ha, soit 79 % de la superficie forestière. La forêt de feuillus est majoritaire, le chêne vert représente le couvert le plus important en Corse toutes formations confondues, mais l'essence la plus représentée en forêt de production est le pin maritime.

Parmi les essences les plus représentées en Corse, on retrouve le chêne liège qui occupe 63 500 ha (données SIG - IFN 2006) de territoire. Un rapport IFN de la même année indique quant à lui une surface de 45 500 ha, cette différence est due à la prise en compte d'une typologie différente de celle mentionnée en SIG. Majoritaire en Corse-du-Sud, il est surtout présent du littoral, et jusqu'à 700 m d'altitude.

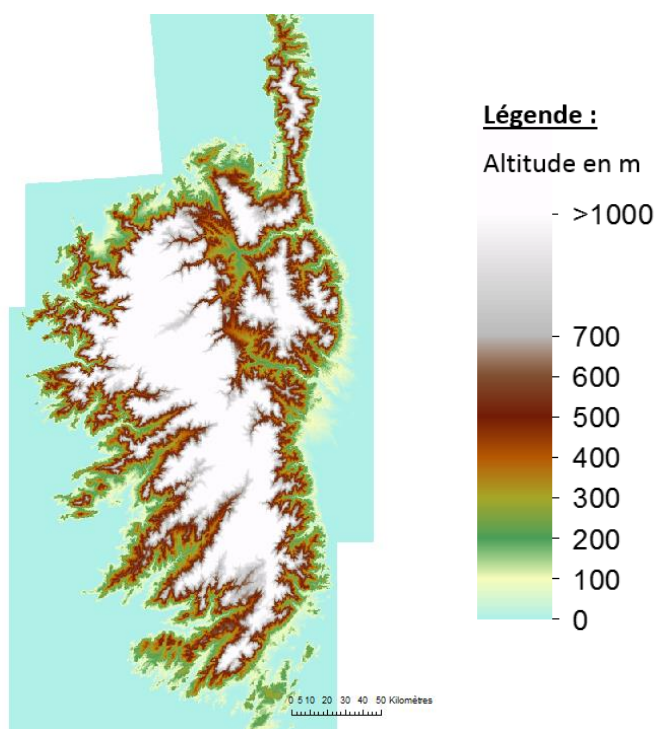


Figure 1 : Zones d'altitude de la région Corse et répartition du chêne liège

**SCHEMA DES ETAGES DE VEGETATION DE LA CORSE**  
D'après J. Gamisans

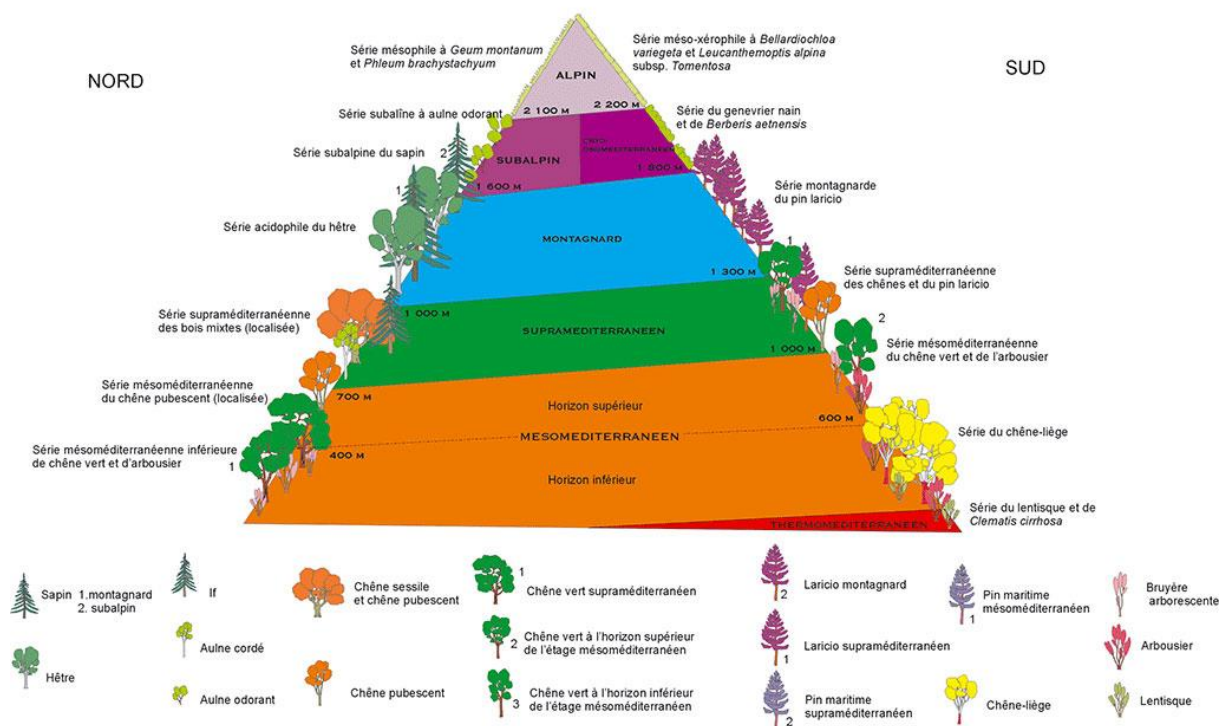


Figure 2 - Schéma des étages de végétation de la Corse, Gamisans

La hauteur des chênes lièges est généralement comprise entre 10 et 15 m de haut , et peut atteindre jusqu'à 20 m (de manière exceptionnelle). Son écorce, le liège, est épaisse et très crevassée et connaît un accroissement annuel important.

Ils peuvent vivre naturellement 250 à 300 ans, exceptionnellement 500 ans (cas isolés), certains arbres atteignent alors 1,50 à 2 m de diamètre. La récolte du liège appelée levée, perturbe et stresse l'arbre, diminuant ainsi son espérance de vie autour des 150-200 ans, soit 8 à 10 levées dans le cas d'une exploitation durable.

Le chêne-liège requiert un espace vital important et supporte difficilement la concurrence. Il s'ensemence et croit idéalement dans les peuplements clairs de type vergers.

Le chêne liège est une essence héliophile et thermophile qui apprécie les climats tempérés à hiver doux. L'aire de répartition des subéraies correspond à des maximums de température dont la moyenne annuelle avoisine les 22°C. Il peut supporter des températures très froides à condition qu'elles restent tout à fait exceptionnelles. La plasticité écologique du chêne liège par rapport à la pluviosité annuelle est grande, il a une bonne croissance quand elle

est comprise entre 800 et 1200 mm. Les rares subéraies qui existent avec des précipitations plus faibles correspondent à des zones à particularités stationnelles favorables présentant par exemple une humidité atmosphérique élevée.

Néanmoins la croissance du chêne liège est ralentie et sa production diminue dans les régions à faibles précipitations. Si les exigences pluviométriques du chêne liège varient dans une telle amplitude, c'est en partie lié au régime des pluies caractérisant le climat méditerranéen.

Le chêne liège apprécie l'humidité de l'air, le long de la côte celle-ci est forte (environ 75%) en toutes saisons. A l'intérieur des terres, l'humidité est plus faible et présente de grandes variations selon le moment de la journée, le lieu et la saison. Le minimum de la moyenne journalière est compris entre 35 et 50 % et a lieu en été. L'humidité est relativement forte et constante aux endroits où le chêne liège reçoit le moins de précipitations.

La majorité des chênes lièges en Corse sont situés dans sa partie hercynienne à massifs granitiques, rhyolitiques et gneissiques. Les granites donnent, par désagrégation climatique et pédologique, un sol sableux frais et profond présentant les conditions optimales de croissance. Une minorité de chênes lièges situés en Haute-Corse sont en Corse alpine qui est caractérisée par des schistes lustrés et quelques rares ophiolites. Leur faible présence est due à une limite altitudinale défavorable au chêne liège, et non pas à la structure rocheuse qui est en général très favorable à sa présence.

Dans le secteur de l'étude, le climat est principalement de type méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Il est imputable à la proximité immédiate de la Méditerranée, véritable récupérateur de chaleur, ses masses d'eau ne se réchauffant et ne se refroidissant que très lentement ; en hiver la mer rayonne de chaleur. Sur le gradient altitudinale du chêne liège les températures moyennes annuelles varient entre 14 et 17 °C avec des pluies abondantes et régulières tandis que la période estivale est longue et sèche. Occasionnellement sur le littoral en été, on se confronte à de grandes sécheresses associées à des orages rares mais violents. L'eau ne s'écoule que superficiellement et fait gonfler les fleuves. Les précipitations sont modérées, de 600 à 800 mm/an, et l'ensoleillement est d'environ 2700 heures et des pointes de température de +40°.

## *L'économie du liège en Corse*

Le prix du liège est basé sur un cours international qui varie notamment en fonction de la production des grands pays producteurs comme le Portugal.

L'industrie du liège possède un fort potentiel en Corse de par la renommée de la qualité de ses produits. A l'heure actuelle on estime que seulement 20 441 ha sont exploités (IFN, 2006) soit moins d'un tiers de la surface totale des subéraies. Malgré un potentiel de production qualitatif et quantitatif, la subéraie corse reste largement sous-exploitée.

La majorité des subéraies de production se situe en Corse-du-Sud, plus précisément dans la région de Porto-Vecchio, bien qu'il existe d'importantes surfaces boisées de chêne lièges en Haute-Corse. 46 % de la production se fait dans la région de Porto-Vecchio et dans le Sartenais, tandis que 25 % a lieu sur la Côte Orientale (GROENE, 1983 ; PIAZZETTA, 2005).

Le marché du liège fut particulièrement florissant à la fin du XIXème siècle, avant de péricliter à cause de l'exode rural, des guerres successives, et de la chute du prix du liège suite à l'augmentation du coût de la main d'œuvre française. Dans certaines microrégions de Corse autrefois très productives, l'augmentation de la concurrence du liège étranger (Sardaigne, Portugal, Espagne, Maghreb) a conduit peu à peu à l'abandon des subéraies ce qui a eu pour conséquence l'envahissement du maquis par manque d'entretien. L'âge d'or de l'exploitation du chêne liège en Corse a été atteint dans les années 1960, mais les politiques locales veulent renouer avec ce passé florissant mettant en place un plan de relance de la filière bois dans la région. En effet, depuis cette période la Corse subit la très forte concurrence de l'Espagne et du Portugal caractérisée par une baisse d'activité du secteur liège sur l'île et en particulier de la fabrication de bouchons et par le démarrage d'activités industrielles nouvelles coïncidant avec des défrichements sur la côte orientale permettant la récupération de liège mâle. En 1965, s'ouvre une entreprise fabriquant des bouchons et de l'aggloméré noir pour l'isolation aux environs de Bastia qui a fonctionné jusqu'à la fin des années 1970. Une entreprise similaire ouvre ses portes l'année suivante à Ajaccio et relaie l'atelier de fabrication de bouchons de Porto-Vecchio, tandis qu'à Ghisonaccia d'autres débouchés s'ouvrent fondés sur le béton de liège (Source : Service Régional d'Aménagement Forestier, 1983).

La production actuelle du liège en Corse est de 1100 tonnes par an. En 2015, la récolte a été estimée à 6 000 quintaux, ce qui correspond à 10% de l'accroissement annuel, soit deux fois moins que 5 ans auparavant (discussion ODARC) et 25 % de moins qu'il y a 25 ans (25 000 quintaux en 1990). Il faut savoir qu'un arbre de 25 cm de diamètre produit 8 kg de liège et un arbre de 65 cm de diamètre produit 40 kg de liège récoltables tous les 10 à 12 ans. Suivant le type de peuplement liège la production de liège femelle varie de 5 à 200 quintaux à l'hectare.

Quelques données synthétisant l'économie et la filière liège ont été précisées dans le tableau suivant :

Tableau 1- Données économiques de la filière liège en Corse

<b>Surface</b>	Potentielle = 63 500 ha Exploitée = 20 441 ha		
<b>Structure propriétés</b>	Publiques = 1%		
	Privées = 99%		
<b>Exploitation</b>	30 % des chênes lièges exploités possèdent du liège "bouchonnable"		
	25 % du liège exploité a été démasclé récemment (1ère levée de mise en production)		
	60 % du liège de production est exploitable (bouchonnable ou non)		
<b>Volumes</b>	Volume de liège total = 357 209 m <sup>3</sup>		
	Volume de liège bouchonnable = 29 893 m <sup>3</sup> = 10 % du volume total		
	Volume de lièges mâle + rebuts + brûlé = 279 571 m <sup>3</sup>		
	Volume de liège non bouchonnable mais récoltable = 47 746 m <sup>3</sup>		
<b>Prix moyens</b>	<b>Sur camion</b>	<b>Livré usine</b>	<b>Coûts d'exploitation et de transport</b>
	entre 0,10 €/kg (brûlé) et 1,70 €/kg (bouchon)	entre 0,40 €/kg (brûlé) et 2,50 €/kg (bouchon)	entre 0,50 et 1 €/kg
	Le prix du kg tient compte de la qualité du liège, mais aussi de l'état de la parcelle (facilité d'accès, embroussaillage, pente)		
	Liège mâle et surépais 0,35€/kg Leveur 300-400 kg/jour et 0,55€/kg		

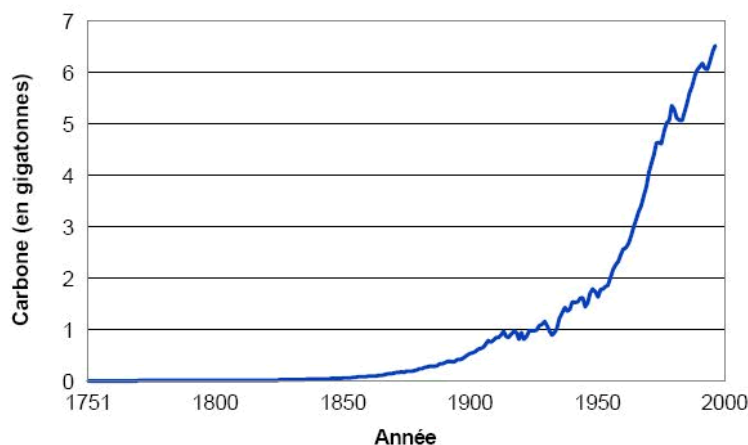
De nos jours, il existe encore quelques entreprises de récolte du liège et le dernier industriel semble avoir fermé ses portes (industrie du bouchon). La totalité de la production est exportée vers la Sardaigne et le Portugal où elle y est transformée (ONF, 2011). Il n'existe plus d'unité de production en Corse (auparavant à Porto-Vecchio et Bonifacio).

## 2. Problématiques et objectifs

---

Le réchauffement du système climatique mondial est sans équivoque. Depuis les années 1950, beaucoup des changements climatiques observés sont sans précédent depuis des décennies jusqu'à des millénaires. L'atmosphère et les océans se sont réchauffés, la quantité des neiges et des glaces a diminué, et le niveau des mers s'est élevé. Au cours des deux dernières décennies, la masse des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique a diminué, les glaciers de presque toutes les régions du globe ont continué à se réduire et l'étendue de la banquise arctique et celle du manteau neigeux de l'hémisphère nord au printemps ont continué à diminuer. L'influence humaine sur le système climatique est clairement établie et ce, sur la base de données concernant l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le forçage radiatif positif, le réchauffement observé et la compréhension du système climatique. Selon certains scénarii, la température du globe augmentera de 2°C à la fin du XXIème siècle. (© SERGE PLANTON METEOFRACTANCE extrait rapport GIEC 2015).

### Tendances mondiales des émissions de CO<sub>2</sub> attribuables aux combustibles fossiles



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center.

Figure 3 - Evolution du CO<sub>2</sub> atmosphérique mondial au cours des trois derniers siècles

Le changement climatique est une réalité, l'augmentation des températures s'élève à environ 1,1 °C en moyenne, en France depuis les années. Le risque de récurrence des sécheresses s'est accru d'environ 10 %.



La constatation de la rapidité de ces changements climatiques implique un nécessaire questionnement de la part des forestiers. En effet, les événements climatiques récents des décennies 90 et 2000 (comme la sécheresse extrême de 2003) traduisent ces changements. Ils ont eu des impacts marqués sur la vitalité des peuplements forestiers. Ainsi, de nombreux dépérissements ont pu être constatés suite à ces événements, qu'ils aient été fulgurants (mortalité subite cas du sapin, épicéa, douglas) ou diffus dans le temps (affaiblissement généralement chez les feuillus comme les chênes, châtaignier, ...).

Les forêts corses représentent un enjeu économique, environnemental et patrimonial vital pour l'île. Ces forêts situées à la confluence de climats variés sont très sensibles au changement climatique. Entre 1960 et 2000, les données climatiques montrent une évolution marquée des températures avec une augmentation de 1,6°C dans plusieurs régions de la Corse. Selon les derniers scénarii du GIEC l'augmentation des températures moyennes pourrait atteindre de +1 à +4°C en 2100. Dans ce contexte général, les peuplements de chêne liège sont aussi concernés. De plus, de nombreux dépérissements ont été constatés sur l'ensemble de son aire de répartition, dont la Corse. Les cas peuplements de chêne liège présentant un taux de mortalité anormal et préoccupant, se sont aggravés surtout depuis les années 1990. Le colloque Vivexpo de 2010 a traité exclusivement de l'impact du changement climatique sur les peuplements de chêne liège. A cette occasion et même si les causes du dépérissement sont parfois nombreuses, indirectes et liées (attaques parasitaires, champignon *Hypoxylonmediterraneum*, insecte *Platypus cylindrus* notamment, mauvaises pratiques de levées par le passé, feux de forêt...), tous les chercheurs des régions subéricoles incriminent le changement climatique comme étant un facteur clé à l'origine de ces dépérissements.

A titre d'exemple, le département santé des forêts (DSF) a mis en évidence, lors de ce colloque, l'influence de la sécheresse de 2003 sur les dépérissements importants constatés dans le massif des Maures (Var) dans les peuplements de chênes liège. En Algérie aussi, des études menées sur 11 ans, de 1999 à 2009, ont montré l'existence d'une relation entre évolution de la pluviométrie et dépérissement.

Face à l'augmentation constatée du dépérissement du chêne liège en Corse, il paraît indispensable d'en appréhender les causes et de quantifier l'impact du changement du climat sur ces dépérissements. L'objectif de cette étude est d'établir une carte de vigilance permettant d'identifier les zones où le chêne liège est en adéquation ou inadéquation

stationnelle dans un contexte de climat évolutif, à travers l'outil BioClimSol développé par l'IDF. Cette carte, par la quantification et la localisation des éventuels dépérissements de la subéraie corse, permettra d'aider les gestionnaires à orienter leurs décisions de gestion. L'objectif est de faire des propositions sylvicoles en vue de prévenir et limiter les risques de dépérissement.

### 3. L'outil BioClimSol

---

La préoccupation des forestiers pour le changement climatique a débuté suite à la canicule de 2003 et à la sécheresse de 2005, événements qui ne sont le reflet que de l'évolution du réchauffement climatique depuis une trentaine d'années. Avec l'accumulation des sécheresses durant les années 2000, les demandes de dérogation au plan simple de gestion pour des coupes sanitaires se sont multipliées.

Conscient de cette évolution le Centre National de la Propriété Forestière, avec l'appui des organismes de recherches, a créé BioClimSol un outil numérique d'aide à la décision. Il vise à aider le forestier dans la gestion des peuplements pour le choix des essences, par exemple, lors d'un renouvellement dans le contexte de changement du climat.

L'acronyme BioClimSol se décompose en :

- ♣ *Bio* pour la prise en compte du vivant, en l'occurrence une essence, ou un peuplement
- ♣ *Clim* pour la prise en compte du climat,
- ♣ *Sol* pour la prise en compte des facteurs compensateurs ou aggravants le climat, lié au sol et à la topographie, influençant en particulier la disponibilité en eau.

BioClimSol permet de cartographier des "zones de vigilance climatique" spécifiques à chaque essence. L'important n'est pas toujours le climat moyen, mais bien plus les extrêmes climatiques auxquelles sont soumis un peuplement. Ces zones sont couplées à un diagnostic de la station et du peuplement, pour préconiser *in fine* des recommandations sylvicoles pour la gestion des peuplements sur pied ou des propositions d'essences adaptées pour les reboisements. La répétition dans le temps de forts déficits hydriques peut induire un risque plus élevé de dépérissement du peuplement.

C'est l'ensemble du diagnostic : climat + station + peuplement qui permet ces préconisations. BioClimSol n'est ni un outil de prédiction de la production forestière, ni un outil de cartographie des dépérissements.

L'outil, validé pour le chêne pédonculé, est en cours d'expérimentation pour d'autres essences: chênes liège, chênes sessile et pubescent, sapin, châtaignier, cèdre et douglas.

BioClimSol se déroule en 6 étapes :

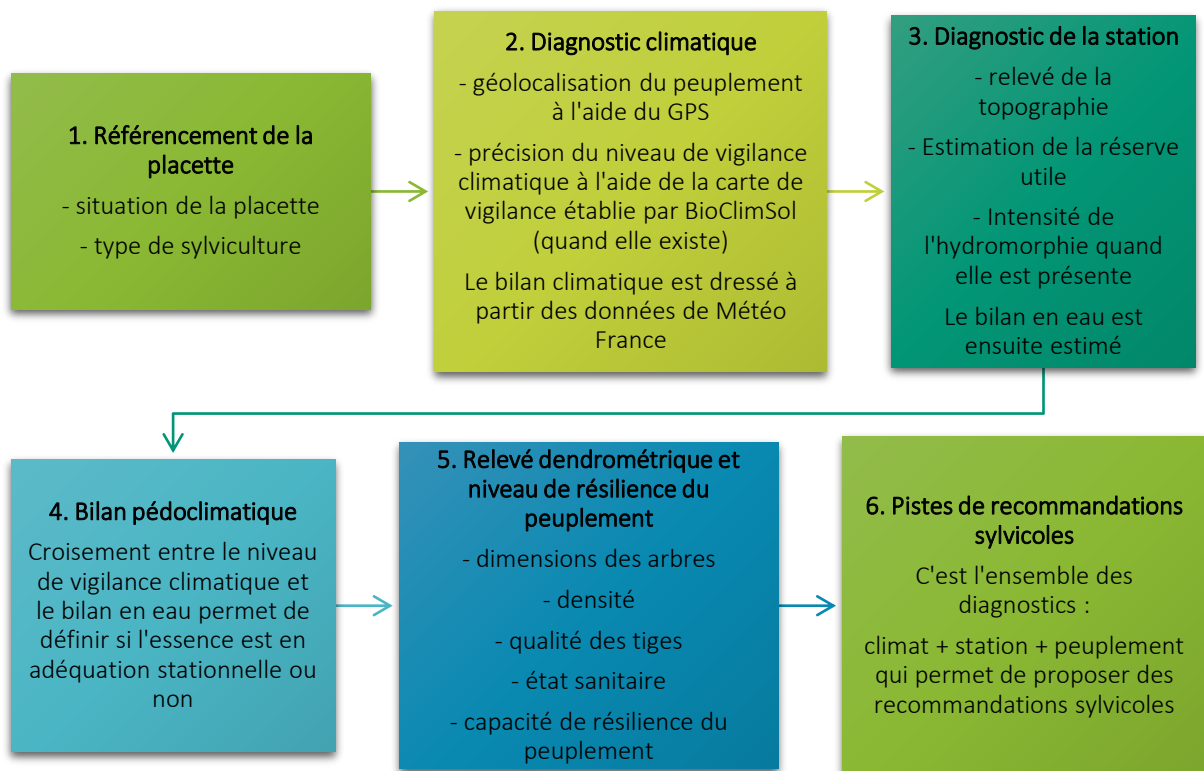


Figure 4 - Etapes du protocole BioClimSol

L'objectif est d'élaborer un outil numérique (GPS, ordinateur, smartphone...) évolutif et directement utilisable sur le terrain s'appuyant sur des données climatiques spatialisées avec des échelles les plus fines possibles pour prendre une décision de gestion au niveau de la parcelle forestière. Cet outil multi-essences a pour but d'utiliser un protocole commun sur le terrain pour les diagnostics de peuplement et de station en prenant en compte le changement climatique afin de proposer des pistes de recommandations sylvicoles.

## 4. Méthodes et Protocole

---

Afin de réaliser cette étude et de pouvoir déterminer les limites pédo-climatiques du chêne liège, il est nécessaire de mettre en rapport des données climatiques, pédo-géologiques forestières et sanitaires dans le but d'identifier les conditions favorables ou défavorables à l'essence en Corse.

Il est indispensable de connaître l'aire de répartition du chêne liège en Corse afin de pouvoir sélectionner plusieurs échantillons sur le territoire et d'en étudier les caractéristiques pédologiques, topographiques, climatiques et dendrométriques. Ces relevés effectués sur chaque placette suivront un protocole déjà expérimenté au niveau national, prenant en compte l'état sanitaire des arbres. Nous tenterons alors de trouver une corrélation entre ce dernier et les données relevées sur le terrain. Les données terrain et l'état sanitaire seront analysées statistiquement pour mettre en avant d'éventuelles corrélations. Nous proposerons alors une carte de vigilance, modèle de répartition des zones favorables ou non au chêne liège en Corse, des préconisations de gestions sylvicoles dans le cadre du changement climatique y seront associées.

### 4.1. Détermination de l'aire de répartition du chêne liège sur le territoire corse

Afin de mettre en place notre échantillonnage dans les peuplements de chêne liège, il est avant tout indispensable de déterminer l'aire de répartition du chêne liège en Corse. Nous localisons ainsi les peuplements à partir des couches de l'Inventaire Forestier National identifiant la répartition des peuplements forestiers de la région Corse. L'aire de répartition du chêne liège couvre 63 500 ha (Source : données SIG IFN 2006).

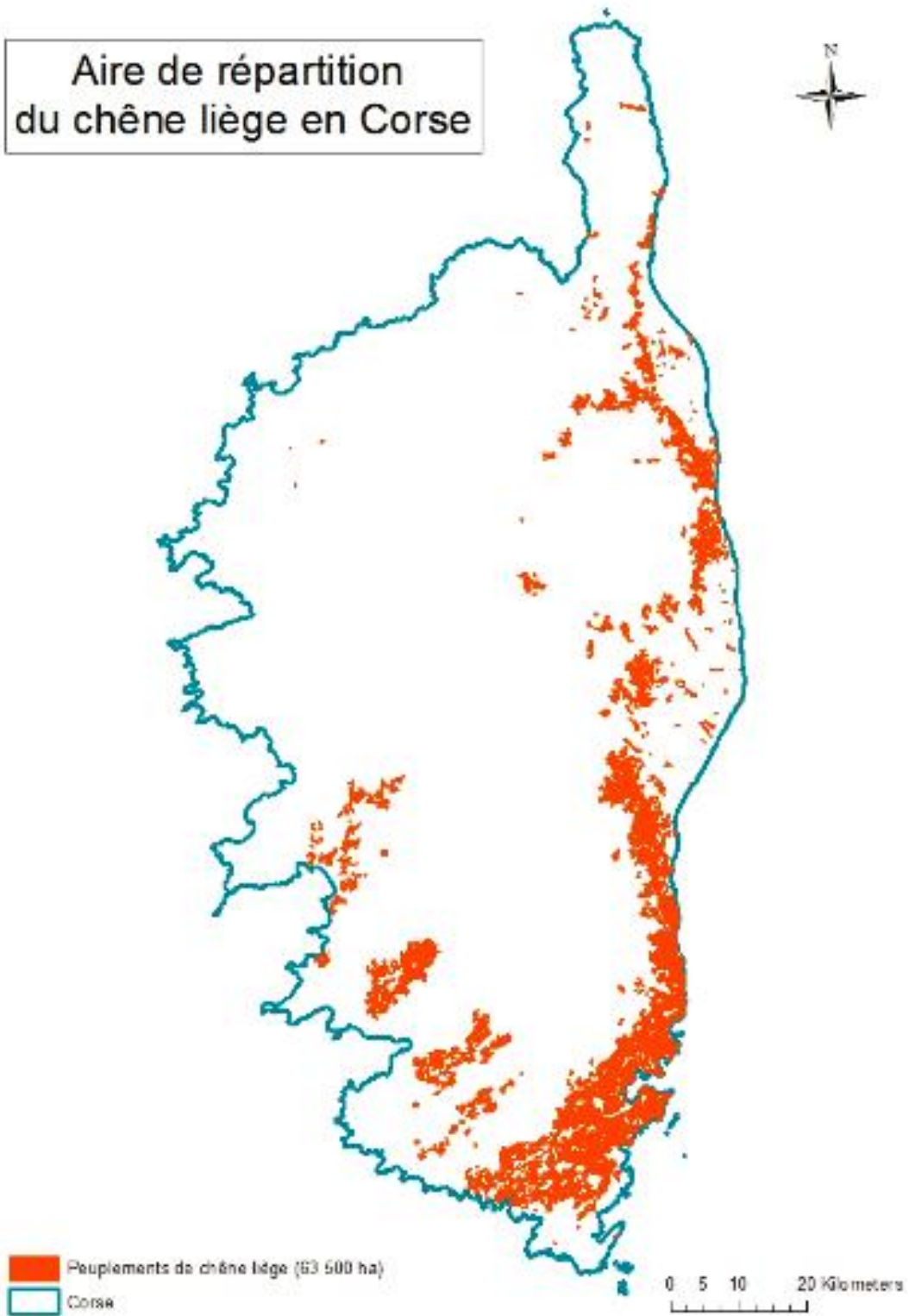


Figure 5 : Aire de répartition du chêne liège en Corse

## 4.2. Utilisation des données météorologiques : les différents modèles climatiques

### *Le modèle DIGITALIS (AgroParisTech)*

Le modèle DIGITALIS développé initialement par AgroParisTech dans le but d'obtenir un modèle climatique utilisable pour les zones de montagne, collecte les données de 500 stations météorologiques appartenant au réseau Météo France sur la période 1961-1990, et est de ce fait moins précis que le modèle AURELHY. Tout comme ce dernier il permet de calculer des moyennes trentenaires, et restituer les données de précipitation et de température avec une maille de 1x1 km. DIGITALIS collecte les données de précipitations, de température et de rayonnement solaire. Ainsi il est possible de calculer le déficit hydrique en tenant compte de différents paramètres topographiques (altitude) avec un Modèle Numérique de Terrain. Ce modèle permet de calculer l'ETP grâce à la formule de Turc (calcul moins précis).

### *Le modèle AURELHY (Météo France)*

Développé par Météo France, le modèle AURELHY utilise et intègre le relief pour l'hydrométéorologie. Il utilise une méthode statistique d'interpolation de différents champs météorologiques avec prise en compte de l'influence du relief avec des données mensuelles d'une résolution de 1 km. 3500 postes en France métropolitaine enregistrent plusieurs paramètres climatiques tels que les précipitations annuelles et mensuelles, les températures minimales et maximales annuelles et mensuelles sur une moyenne trentenaire et sur des séries annuelles. Cette échelle temporelle permet de lisser les données et ne pas prendre en compte les événements ponctuels, et elles sont recalculées tous les 10 ans. L'inconvénient de ce modèle est qu'il ne calcule pas l'ETP et il ne prend pas en compte la microtopographie (rayon 25 km).

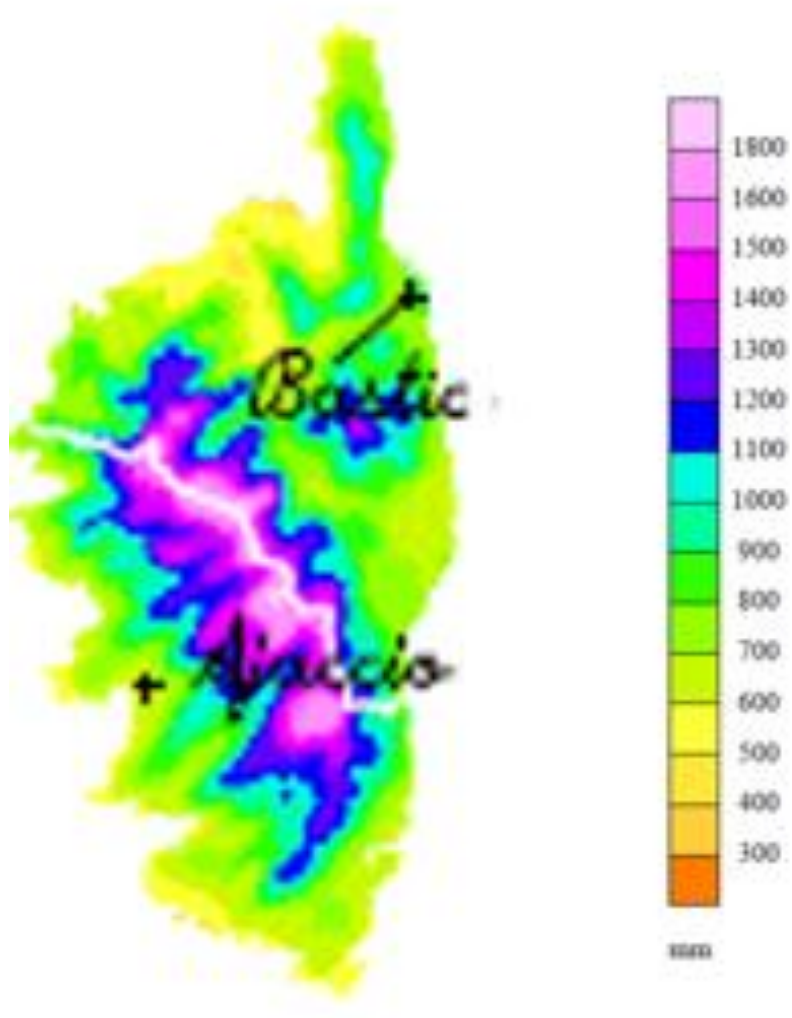


Figure 6 : Précipitations annuelles moyennes sur la Corse 1981-2010 (Source : Météo France)

### *Le modèle SAFRAN (Météo France)*

Egalement développé par Météo France initialement pour suivre le risque d'avalanches, le modèle SAFRAN permet de donner une valeur de l'évapotranspiration potentielle (ETP) en mm à partir de la formule de Penman-Monteith grâce à un réseau de 1600 postes à travers toute la France métropolitaine. Les valeurs sont issues de l'interpolation de mesures de différents paramètres atmosphériques, température, précipitations liquides et solides, force du vent, humidité relative, rayonnement solaire et nébulosité totale, sur la période 1958-2012. Ce modèle ne prend pas en compte la topographie locale, le pas de maille est assez large 8x8 km.

Afin de déterminer les valeurs de déficit hydrique (P-ETP) nous avons utilisé un modèle hybride des modèles AURELHY et DIGITALIS : **AURITALIS**. Ce modèle permet d'obtenir des valeurs plus précises et correctes que les autres modèles en prenant en compte la topologie assez hétérogène du territoire de l'étude. Il a été développé par Jean Lemaire, ingénieur à l'Institut pour le Développement Forestier (IDF) et utilisé au cours d'études sur d'autres essences tels que le châtaignier et le douglas.

### 4.3. Stratification du territoire en trois classes de P-ETP<sub>0608</sub>

Afin d'établir les limites pédoclimatiques du chêne liège dans un contexte de climat évolutif, il est nécessaire d'étudier un échantillon représentatif des 63 500 ha de territoire recouvert par l'essence en Corse. La méthodologie nous indique de suivre un échantillonnage aléatoire. Pour qu'il soit représentatif d'une population de taille importante, dans le cadre de notre étude 90 à 120 placettes ont été définies et réparties en trois zones définies à partir du déficit hydrique (P-ETP). Le déficit hydrique ou bilan hydrique climatique « P-ETP » est obtenu à partir de la différence entre les apports d'eau par les pluies et les pertes en eau par évaporation et transpiration du végétal. En effet, l'évapotranspiration potentielle (ETP) représente la quantité d'eau maximale qu'un couvert végétal en pleine activité physiologique peut restituer à l'atmosphère dans des conditions hydriques non limitantes. P-ETP s'obtient par la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration.

Les trois zones de P-ETP sont établies pour les mois estivaux, pour lesquels les sécheresses sont les plus marquées, de juin à août, (c'est pour cela que l'on parle de *P-ETP<sub>0608</sub>*), à partir des données issues du modèle AURITALIS croisés avec l'aire de répartition du chêne liège à l'aide du logiciel Qgis. Les limites des trois classes ont été déterminées dans le but de correspondre aux différentes contraintes climatiques du territoire d'étude, elles sont donc spécifiques au chêne liège.



### Valeurs P-ETP0608 sur la période 1981-2010 en Corse

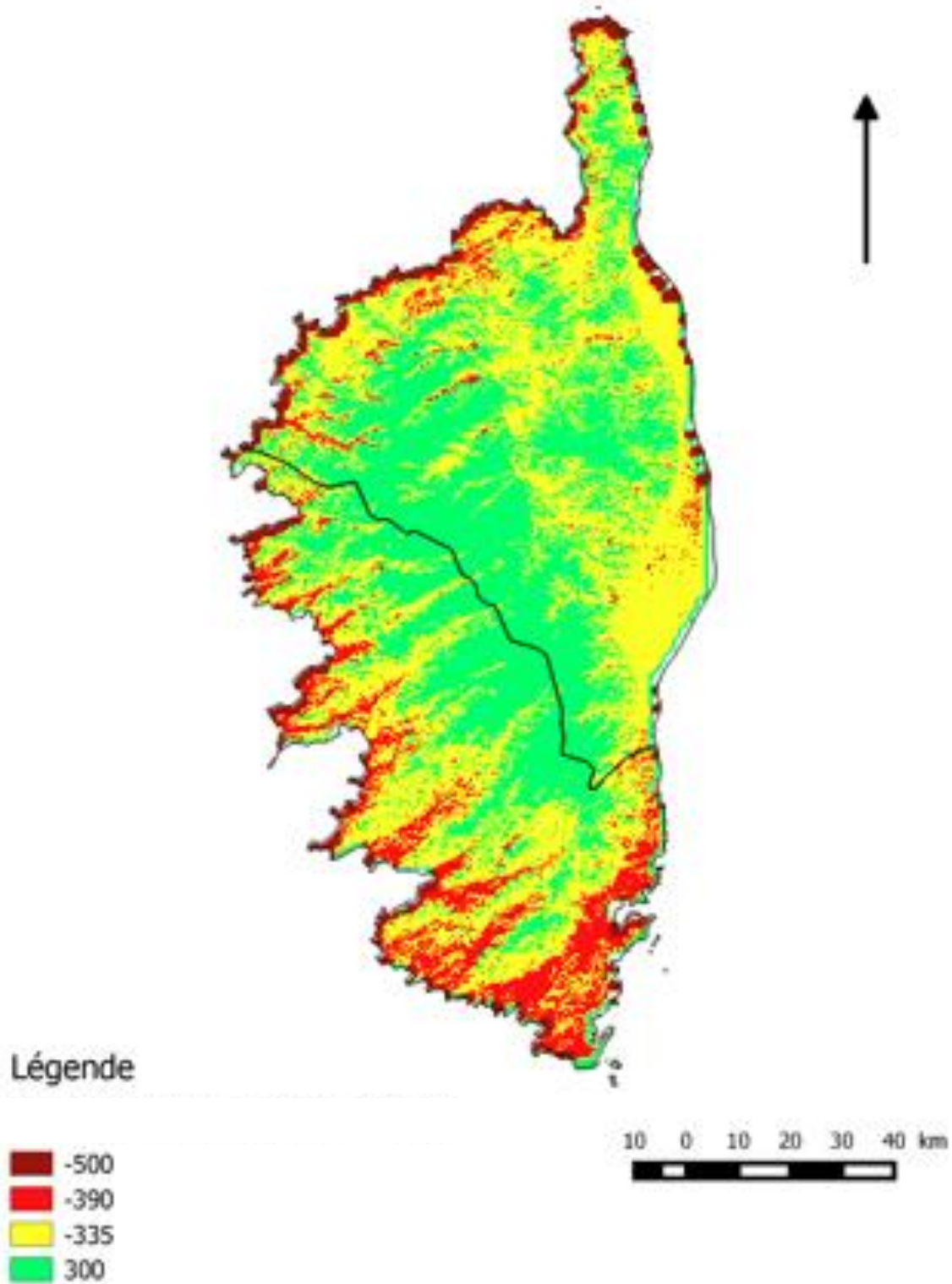


Figure 7 - Cartographie de la stratification de l'échantillonnage en trois classes de P-ETP spécifiques au chêne liège

- ♣ La classe P-ETP <-390 mm d'eau correspond à la classe présentant les conditions du bilan hydrique les plus difficiles que le chêne liège puisse rencontrer en Corse.
- ♣ La classe P-ETP comprise entre -335 et -390 mm d'eau représente la classe où le niveau de contrainte du bilan hydrique pour le chêne liège est moyen.
- ♣ La classe P-ETP >-335 mm d'eau représente la classe où les contraintes du bilan hydrique sont faibles voire nulle pour le chêne liège.

## 4.4. Détermination des placettes et échantillonnage

L'objectif principal étant d'établir le lien entre les contraintes climatiques et le dépérissement, l'échantillonnage est stratifié en fonction des conditions climatiques dans lequel se situe le chêne liège. En l'occurrence, le chêne liège est très sensible au taux d'humidité atmosphérique ainsi qu'à la récurrence des sécheresses. Le bilan hydrique est le principal facteur limitant en région méditerranéenne et il est fortement lié au climat. Le plan d'échantillonnage sera donc stratifié en fonction du gradient de sécheresse climatique défini à travers la relation P-ETP0608. Trois zones de P-ETP sont alors retenues et spatialisées à l'aide de l'outil AURITALIS.

### 4.4.1. Répartition des placettes

Les placettes sont réparties de manière aléatoire à partir des centroïdes des polygones de la couche chêne liège de l'IFN, grâce au logiciel Qgis. Nous n'avons pu exclure les peuplements en mélange car les chênes lièges sont minoritairement présents en peuplements purs sur le territoire. Les peuplements IFN retenus pour l'étude sont :

- ♣ Futaie de chêne liège
- ♣ Garrigue ou maquis boisé de chêne liège
- ♣ Mélange de futaie de chêne liège et autres essences
- ♣ Futaie de chêne liège (protection)

Dans un échantillonnage aléatoire la taille de l'échantillon est importante, elle doit être représentative de la population, c'est pourquoi dans chacune des classes de P-ETP, 33 placettes de chênes lièges sont inventoriées soit au total 99 placettes. La sélection se faisant de manière aléatoire il est indispensable de placer un nombre beaucoup plus important de placettes que

le nombre prévu initialement à l'aide du logiciel SIG. En effet, le placement aléatoire implique que les placettes peuvent se retrouver dans des zones d'habitation, des rivières, ou encore dans des zones inaccessibles par exemples, rendant les relevés sur les placettes irréalisables. Afin d'éviter des déplacements sur le terrain inutiles et qui prendraient beaucoup trop de temps, les 99 placettes sont validées à l'aide des photographies aériennes de 2007 parmi les 600 placées aléatoirement (200 X 3 zones P-ETP). A partir de la table attributaire, on sélectionne les placettes une à une parmi les 200, par zones de P-ETP afin de vérifier leur situation par photographie aérienne, et on élimine celles qui sont irréalisables jusqu'à en obtenir 33 par zone.

Malgré ce tri, le risque que la placette ne soit pas réalisable par manque d'accès ou tout autre raison reste entier, c'est pourquoi un deuxième échantillonnage aléatoire sans distinction de classes et au nombre de 500 points est réalisé dans le but de constituer des points de secours. Bien évidemment les points de secours sont sélectionnés au préalable des visites terrain afin qu'ils correspondent à la bonne classe de P-ETP des placettes qu'ils remplacent. Quatre points de secours par placettes sont sélectionnées en SIG ; on sélectionne les 4 points les plus proches de chaque placette, dans la classe identique de P-ETP et visiblement accessibles depuis les photographies aériennes. La totalité des placettes et de leurs placettes remplaçantes est alors répertoriée dans un fichier Excel.

Le centre de chaque point défini en SIG correspond au centre de chaque placette dont les coordonnées sont transférées dans le GPS.

En Corse, le chêne liège est présent dans une zone de P-ETP comprise entre -198 et - 427 mm.

La carte ci-après représente la répartition des 99 placettes de relevés sur l'ensemble du territoire de l'île.

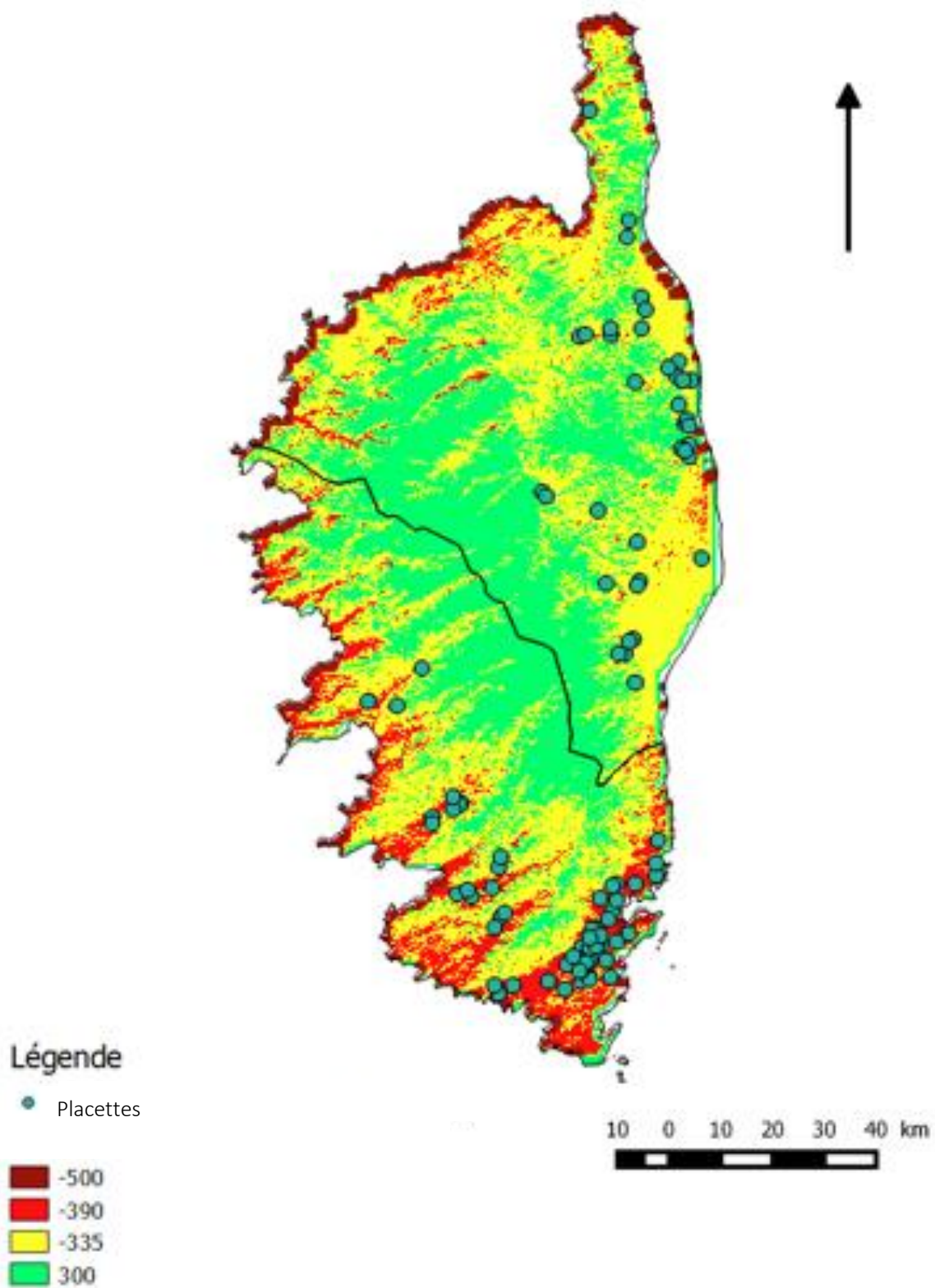


Figure 8 - Répartition aléatoires des placettes selon la stratification P-ETP0608

## 4.5. Les données des placettes à collecter sur le terrain

A partir des données GPS, la chargée de mission et le technicien se rendent sur le terrain, très précisément sur le point défini et considère son centre comme le centre de la placette. Les mesures sur la placette se réalisent uniquement si les conditions suivantes sont réunies sur le point d'échantillonnage :

- ♣ Au moins deux tiers du couvert forestier est formé par des chênes lièges
- ♣ Au moins cinq chênes lièges sont présents dans un rayon de 15 m
- ♣ Il n'y a pas eu d'intervention récente qui aurait pu influencer l'état sanitaire des arbres (coupes, feu, etc...)
- ♣ Il n'y a pas de bétail
- ♣ La hauteur totale moyenne du peuplement dépasse 6 m.

Une fois la placette validée pour l'étude, les mesures effectuées sur les placettes sont de plusieurs ordres :

### Diagnostic du peuplement :

- ♣ Type de peuplement : futaie, maquis, taillis/futaie ou taillis
- ♣ Essences secondaires
- ♣ Densité des essences secondaires
- ♣ Hauteur moyenne des essences secondaires

### Dendrométries :

- ♣ Un relevé de surface terrière du peuplement total à la chaînette relascopique
- ♣ Un relevé de surface terrière du peuplement de chêne liège à la chaînette relascopique
- ♣ La densité du peuplement
- ♣ Le couvert forestier
- ♣ La hauteur moyenne du peuplement (6-12, 12-18, 18-24, >24 m).
- ♣ Le diamètre à 1,30 m, le diamètre sur-écorce, et l'état sanitaire des 20 premiers chênes lièges de l'étage dominant ou co-dominant à partir du centre de la placette

Le liège (sur les 20 premiers chênes à partir du centre de la placette) :

- ♣ Type de liège : mâle ou femelle
- ♣ Age
- ♣ Epaisseur
- ♣ Etat sanitaire : présence ou non de carpophore, Hypoxylon mediterraneum, platype ou défoliateur
- ♣ Impact de la levée de liège sur la mère exprimé en pourcentage impacté par rapport à la circonférence du tronc du chêne liège

Stationnels :

- ♣ Altitude
- ♣ Exposition
- ♣ Topographie
- ♣ Pente
- ♣ Confinement
- ♣ Hydromorphie
- ♣ Couverture du sol en litière, végétation, sol nu, cailloux et blocs, rochers ( $\Sigma=100\%$ )
- ♣ Test HCl
- ♣ Profondeur de prospection
- ♣ Réserve utile minimale
- ♣ pH du sol
- ♣ Pourcentage éléments grossiers dans le profil de la fosse

Etat sanitaire :

- ♣ Méthode ARCHI (IDF)
- ♣ Méthode DEPEFEU (Département Santé des Forêts)

De plus deux photographies de la placette sont prises le jour du relevé, ce qui permettra de constituer une photothèque des placettes de l'étude, attestant de l'état sanitaire des chênes lièges.

La fiche terrain est jointe en Annexe 1.

L'humidité étant un facteur limitant (car bien que xérophile le chêne liège nécessite une humidité atmosphérique d'au moins 60%) il paraissait important de mesurer l'humidité atmosphérique sur chacune des placettes à l'aide d'un hygromètre portable. Cette idée a été rejetée lors du premier Comité de Pilotage de l'étude car une telle mesure ponctuelle est extrêmement variable car elle dépend notamment du vent, ou encore de la couverture nuageuse par exemples, qui sont des variables instables à l'échelle de la journée mettant ainsi en cause la significativité des résultats.

#### 4.5.1. La notation du dépérissement

La notation du dépérissement se fait à partir des méthodes ARCHI et DEPEFEU.

En effet d'après l'article de Guy LANDMANN (LANDMANN, 1994) on peut définir le dépérissement de la façon suivante :

*« Les dépérissements sont définis comme des phénomènes causés par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière, et qui entraînent une détérioration générale et graduelle, se terminant souvent par la mort de l'arbre. »*

La méthode ARCHI repose sur une analyse architecturale du houppier de l'arbre qui renseigne sur son état physiologique mais ne renseigne ni sur les causes du dépérissement qu'ils soient biotiques ou abiotiques, ni sur les raisons des comportements individuels des arbres liés à l'âge ou encore à la sylviculture pratiquée par exemple.

Il existe 6 types ARCHI :

Tableau 2 - Différents types du protocole ARCHI

<i>Sain</i>	<i>Stressé</i>	<i>Résilient</i>
La diminution de la longueur des unités réitérées dans le houppier se fait de manière très progressive, la ramification des branches est dense et il existe une dominance apicale forte de chaque unité réitérée.	Il s'agit d'une réaction à un stress trop récent pour préjuger de l'avenir de l'arbre, des gourmands apparaissent dans le houppier, la ramification s'appauvrit, et la longueur des dernières unités réitérées formées diminuent brutalement.	le houppier est en reconstruction dans la partie sommitale de l'arbre après un dépérissement, on voit apparaître des gourmands orthotropes (croissance verticale, symétrie radiale, phyllotaxie spiralée) majoritaires, vigoureux, à ramification normale.
<i>Descente de cime</i>	<i>Dépérissement irréversible</i>	<i>Mort</i>
Un nouvel houppier se forme sous les branches dépérissantes dans la moitié basse de l'arbre, des gourmands plagiotropes (croissance horizontale, nette dorsiventralité, phyllotaxie distique) bien hiérarchisés apparaissent et on constate également une forte mortalité ou un appauvrissement marqué de la ramification de la partie sommitale du houppier.	L'arbre est incapable de restaurer les parties dépérissantes, il y a 25 % de branches mortes ou cassées dans la partie notable de son houppier, on observe une perte importante et/ou un appauvrissement de ramification fine, les gourmands sont rares ou absents voire agéotropes (aucune orientation privilégiée, peu ramifiés, grêles et petits) ses réserves s'épuisent, l'arbre devient moribond.	



La clé de détermination suivante est utilisée :

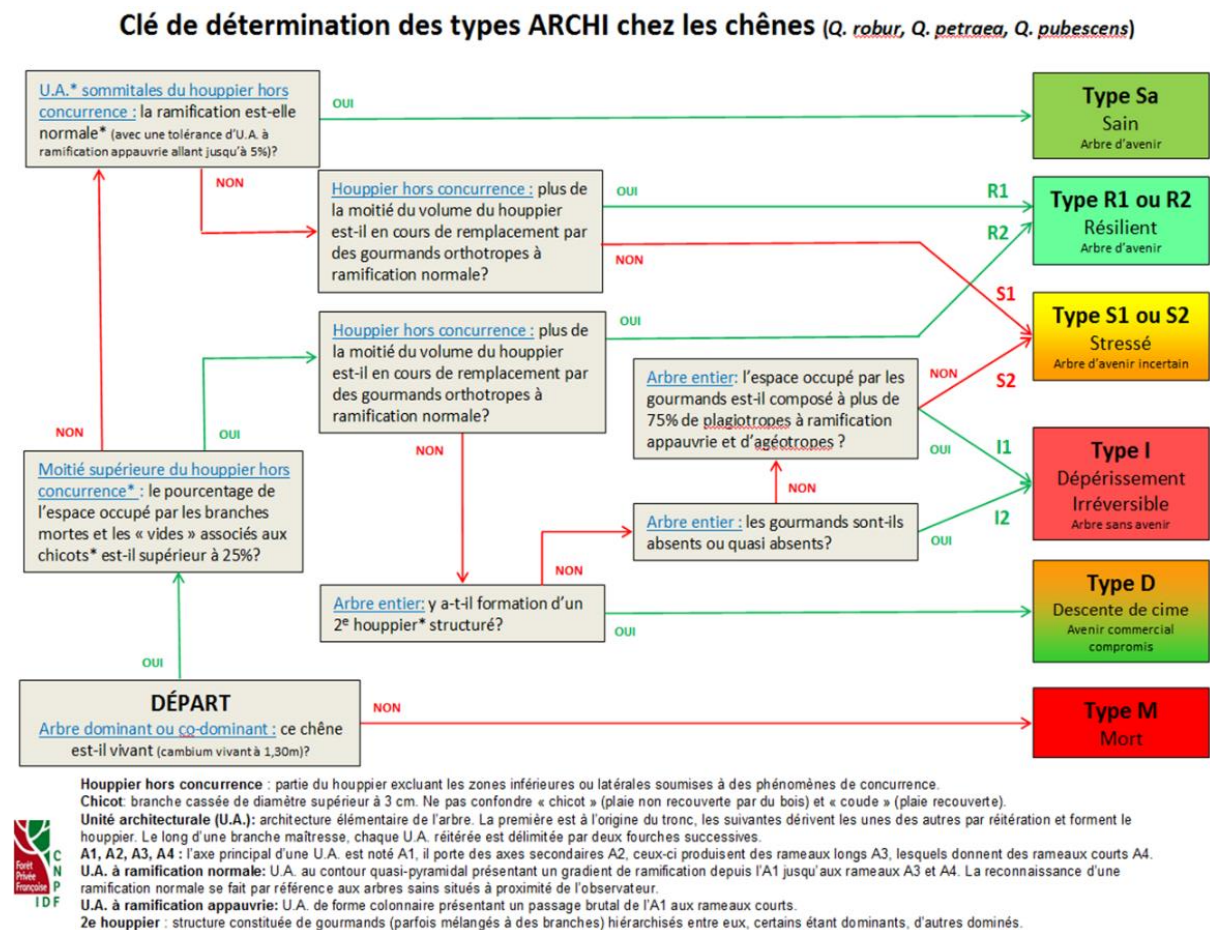


Figure 9 - Clé de détermination ARCHI pour le chêne

Une placette est jugée dépérisante si au moins 20 % des arbres mesurés sont de type I ou M.

La méthode DEPEFEU repose sur le déficit foliaire principal facteur retenu pour caractériser l'état sanitaire des arbres. Ce critère repose sur le principe de l'appréciation depuis le sol d'un manque de surface foliaire par rapport à l'arbre de référence qui est à 0 % de déficit. En dehors de facteurs conjoncturels comme une attaque d'insecte, un dégât de gel ou une canicule, le déficit foliaire est dû à plusieurs phénomènes :

- ♣ Une réduction de la croissance en longueur des pousses
- ♣ Une mortalité des rameaux et des branches
- ♣ Une réduction de la ramification fine évoluant en fenêtre et en échancrure dans le houppier.



Fenêtre

Échancrure

Rameaux et branches mortes

Figure 10 - Réduction de la ramification fine dans trois houppiers de chênes lièges

Lors de la notation d'un arbre avec la méthode DEPEFEU, on observe la moitié supérieure du houppier, le houppier actif, avec un certain recul par rapport au pied de l'arbre. On décrit alors l'aspect du houppier en attribuant une note d'intensité qualitative comprise entre 0 et 4, selon le tableau suivant :

Protocole d'attribution de la note finale

CRITERES	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Rameaux morts	Non	Oui	Oui	Oui	H
Branches mortes	Non	Non	< 50 %	> 50 %	O
Transparence	Non	Légère	Moyenne	Forte	U
Echancrures	Non	Non	Oui	Oui	P
Fenêtres	Non	Oui	Oui	Oui	P
Perte de ramification	Non	Légère	Moyenne	> 50 %	I
Rameaux en fouets (Hêtre surtout)	Non	Oui	Oui	Oui	E
Feuilles en paquets	Non	Non	Oui	Oui	R
Visibilité du squelette de l'arbre	Non	Non	Partielle	Totale	MORT

Figure 11 - Protocole d'attribution de la note DEPEFEU

### 4.5.2. Impacts sanitaires à identifier

Dans notre fiche de relevé terrain nous avons ajouté une case permettant de relever le ou les impacts sanitaires identifiés sur chacun des 20 arbres à savoir :

#### *Le Carpophore*

Trois types de carpophores peuvent être identifiés dans les subéraies corses :

- *Stereum hirsutum* : l'échauffure du bois est créée par une attaque enzymatique du bois comparable à celle de la pourriture blanche. C'est d'abord la lignine et ensuite la cellulose qui sont dégradées. D'apparence inoffensive, elle ne présente pas de dégât au toucher. Elle se présente sous forme de taches plus ou moins petites blanchâtres, jaunâtres, rougeâtres ou brunâtres suivant la nature du bois. Les zones atteintes perdent du poids et de la dureté. L'attaque se situe en principe dans l'aubier du bois mais peut atteindre le cœur par l'intermédiaire des coupes. Les bois atteints perdent leur valeur technique. Seule une expertise statique pourra déterminer le maintien du bois. Le traitement chimique est préventif et des mesures constructives sont incontournables (COLLING, 2002).



Figure 12 - *Stereum hirsutum* sur un tronc

*Ganoderma applanatum* : champignon très commun, parasite mais aussi saprophyte de faiblesse affectant la crosse et le tronc de l'arbre. Il pénètre par une plaie et colonisent lentement le bois en le dégradant. Ce ganoderme cosmopolite fréquente un grand nombre de feuillus comme le chêne liège. Pluriannuel, on pourra donc l'observer tout au long de l'année sous des aspects et couleurs parfois très différents en fonction des saisons.

D'un aspect relativement plat, hémicirculaire, sans pied, rarement solitaire mais plutôt superposé ou imbriqué, l'aspect terne zoné-tourmenté de la croûte (malgré son appartenance au genre ganoderma) et sa chair marbrée de blanc dans l'âge, sont des caractéristiques sûres permettant d'identifier sans trop de difficultés le ganoderme aplani.



Figure 13 - *Ganoderma applanatum*

- *Trichaptum biforme* : ce champignon destructeur de lignine vit sur le bois mort des feuillus tel que le chêne liège. Il est l'agent de la carie blanche alvéolée qui rend le bois filandreux et fragile avec des alvéoles vides. Le qualificatif biforme signifie qui a deux stades, en référence à la face qui peut être soit poroïde ou dentée.



Figure 14 - *Trichaptum bifforme*

### *Le charbon de la mère*

Le chêne liège est parfois ravagé par le « charbon de la mère » provoqué par un champignon *Hypoxylon mediterraneum*, favorisé en particulier par les incendies ou le démasclage. Il provoque un dessèchement des rameaux, des branches, puis du tronc, et enfin la mort de l'arbre. Une taille des arbres bien adaptée, la protection des zones saines, la désinfection des outils sont les trois principales méthodes de lutttes actuelles.



Figure 15 - Charbon de la mère sur du liège mâle

### *Le platype*

*Platypus cylindrus* est un coléoptère xylophage opportuniste lié à un processus de dépérissement. Il provoque une attaque appelée « la piqûre noire » visible au débitage des arbres ou au niveau de la cassure des chablis. On le remarque particulièrement sur certains chênes lièges récemment écorcés par la présence de petits trous d'environ 1 mm de diamètre d'où s'écoule une sciure blanche issue de galeries montrant que l'arbre est habité. On constate également dans le cas d'attaques importantes, des diminutions de feuillaison et des dessèchements de branchages. Le platype peut tuer un arbre en moins de deux ans. Le bois est parcouru de galeries tapissées d'un feutrage noir. Pourtant ce ne sont pas les trous faits par l'insecte qui font dépérir l'arbre, il transporte avec lui des champignons lignicoles qui se développent dans les galeries où il pond ses œufs. Une fois écloses les larves se nourrissent du mycélium. Bien que le mécanisme de la mortalité des arbres atteints ne soit pas clairement identifié, il semble que ce soit le champignon le responsable du dépérissement des chênes lièges, ne faisant du platype que le vecteur.

Des études ont montré que le platype s'attaque préférentiellement aux arbres tous jeunes levés puisque le fait de récolter le liège multiplie par 4 la fréquence des attaques.



Figure 16 - Présence de platype sur du liège femelle

## 4.6. Traitement statistique

Les analyses statistiques de l'ensemble des données des placettes ont été réalisées avec le logiciel TANAGRA 1.4, développé à l'Université Lyon 2 (Rakotomalala, 2005) et le logiciel STATISTICA 7. Les tableaux croisés dynamiques et les graphiques ont pu être réalisés grâce aux logiciels EXCEL et ACCESS 2013.

Pour pouvoir traiter statistiquement les données obtenues des placettes en combinaison avec les données climatiques obtenues des modèles, une base de données a été mise au point. Celle-ci comprend notamment les notations de dépérissement des 20 arbres de chacune des 99 placettes selon les protocoles ARCHI et DEPEFEU, afin de calculer le nombre d'arbres dépérissants. Pour qu'une placette soit jugée dépérissante il faut qu'au moins 20% des arbres soient dépérissants (seuil fixé par le protocole DEPEFEU). Cependant dans notre échantillonnage aucune des placettes réalisées ne remplissait ces conditions, c'est pourquoi nous avons abaissé ce taux de dépérissement à 10 % d'arbres stressés et dépérissants, noté

« DEPEFEU2OU3 ». Ensuite, pour chaque placette son classement ainsi que tous les paramètres dendrométriques, stationnels, pédologiques et climatiques ont été mis en relation à partir de différentes analyses statistiques :

- ♣ **Analyse en composantes principales (ACP)** : cette analyse considère des axes indépendants qui représentent les principales directions de variabilité des données brutes. Plusieurs composantes principales (axes) sont proposées et chacune d'elles explique une partie de la variabilité des données. Le classement se fait en fonction du pourcentage de variabilité expliqué, du plus explicatif au moins explicatif. Les différentes variables sont alors testées pour trouver celles qui s'adaptent le mieux aux axes et donc qui impliquent le mieux la distribution des autres. Les axes expliquent la variance des points échantillonnés.

Cette analyse est purement exploratoire, elle sert à faire ressortir les variables les plus influentes, mais elle ne sert pas directement à la construction d'un modèle.

La liste des variables testées est disponible en Annexe 2.

- ♣ **Analyse de variances (ANOVA)** : il s'agit d'un traitement qui permet d'établir l'existence ou non d'une corrélation entre une ou plusieurs variables continues et une variable discrète. Cette analyse a été utilisée pour confirmer ou écarter les corrélations entre le degré de dépérissement des peuplements et certaines conditions stationnelles, et par ce biais, confirmer ou non les hypothèses de départ. Cela est très important étant donné que notre échantillon de placettes a été stratifié et ensuite sélectionné aléatoirement.

- ♣ **Arbre de décision** : l'arbre de décision est un outil qui permet de répartir en groupes (d'une taille minimale fixée) une population initiale selon des limites qu'il fixe pour une ou plusieurs variables données, avec une proportion d'erreur connue. Il permet donc d'établir des limites pour les variables influents en fonction de l'hétérogénéité de la population initiale en séparant les sous-populations de façon binaire (en termes d'absence/présence).

Il convient de choisir un arbre de décision qui soit un compromis entre la précision et la praticité. Un arbre très précis peut inclure dans son développement un grand nombre de variables, parfois difficiles à mesurer. Un arbre créé à partir d'un nombre plus restreint de variables a le plus souvent un taux d'erreur plus élevé.



- ♣ **Modèle de régression logistique binaire** : il s'agit d'un outil qui permet d'établir une équation pour classer une variable binaire dépendante en fonction d'un certain nombre de variables continues indépendantes, comme l'absence ou la présence de dépérissement.

(Source : Antonio Garcia Collado, *Détermination des limites pédoclimatiques du châtaignier dans le Haut-Languedoc, construction d'un outil d'aide à la décision pour l'adaptation de la sylviculture*)

## 5. Résultats et Analyses

Le premier objectif de l'analyse statistique est de déterminer quels sont les variables ou facteurs expliquant le dépérissement et le stress des chênes lièges à travers différents traitements statistiques.

### 5.1. Données générales

#### 5.1.1. Les classes de diamètre

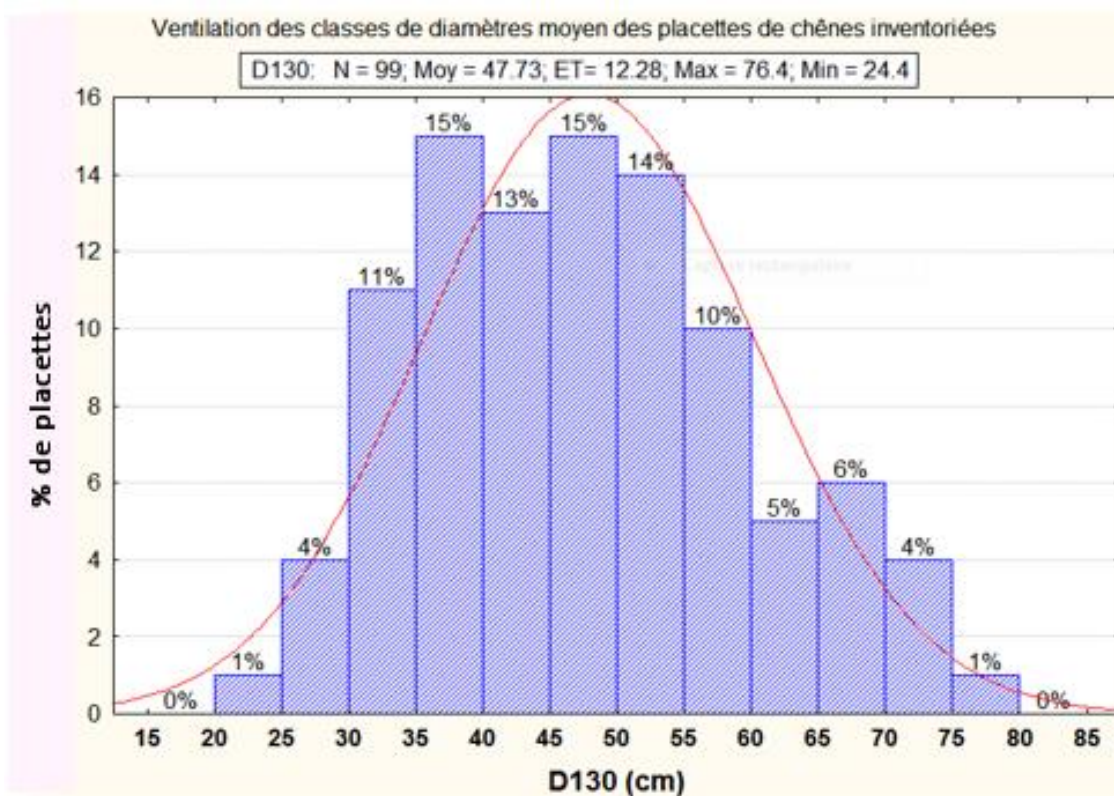


Figure 17 - Classes de diamètres moyens des placettes de chênes lièges inventoriées

## Analyse

Les 99 placettes visitées sont représentatives d'une subéraie régularisée gros bois (un diamètre moyen 47,73 cm). Les peuplements dont la hauteur dominante est inférieure à 6 m ont été exclus lors de la validation et le relevé des placettes, il y a donc une perte d'information pour les diamètres inférieurs à 20 cm. En effet, la classe de diamètre 0-20 cm correspond généralement à des hauteurs d'environ 0 à 6 m. Ce graphique est assez représentatif de la réalité avec une majorité de peuplements situés entre 30 et 60 cm de diamètre.

### 5.1.2. L'exploitation du liège

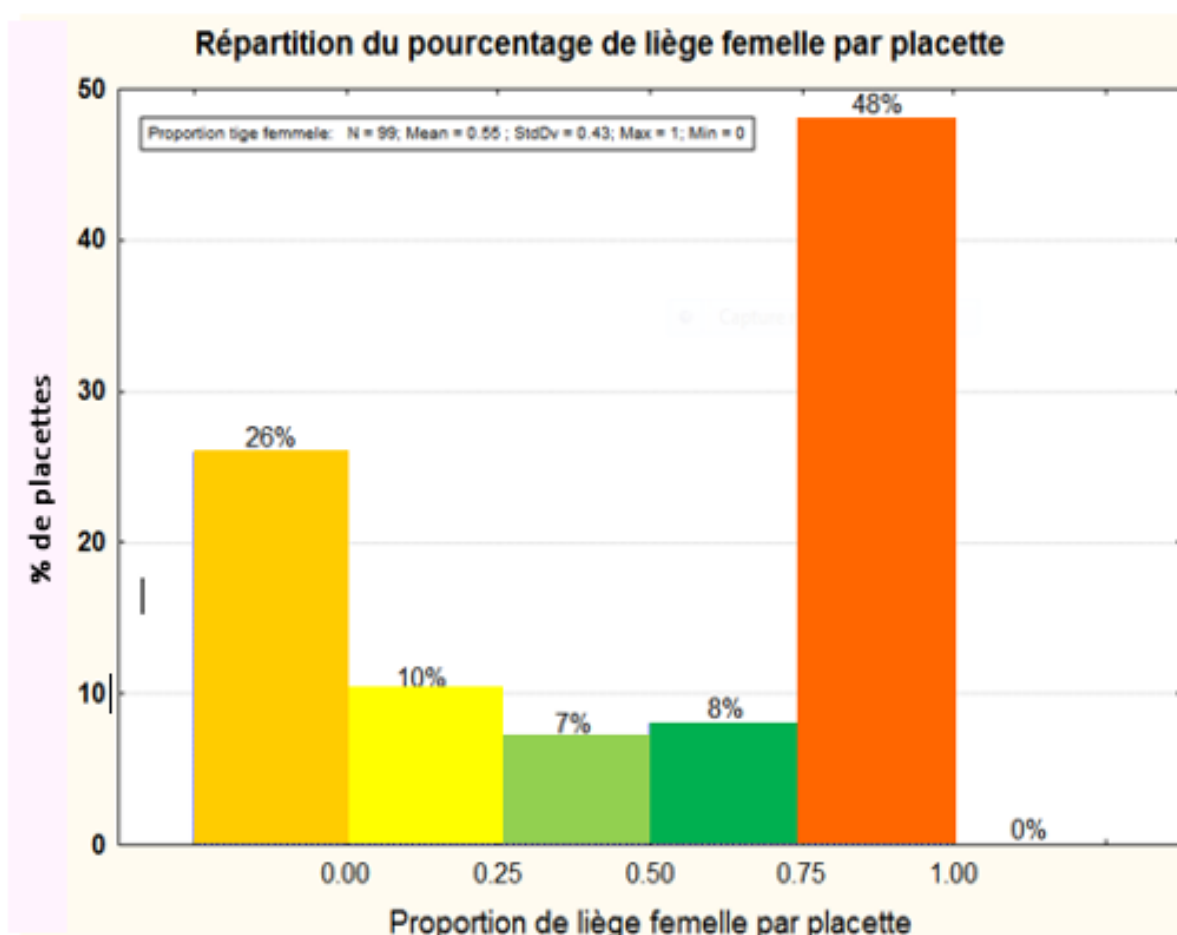


Figure 18 – Répartition par placette du pourcentage de chênes levés pour le liège

## Analyse

Près de la moitié des placettes a déjà été totalement levée (48%), un quart ne l'est pas du tout, tandis que sur le quart de placettes restantes certains lièges ont été levés et d'autres non. Cela peut s'expliquer par le fait que l'exploitation du liège est très ancienne, et les individus non levés sont issus de la régénération du peuplement, et ne présentent pas les diamètres minimum pour une première levée, sachant que celle-ci a lieu lorsque l'arbre a atteint une quarantaine d'années environ. Il est intéressant de noter que les différentes placettes montrent une exploitation du chêne liège ancienne et toujours présente à ce jour.

La figure 19 présente la stratification des chênes lièges en fonction du pourcentage de tiges levées.

## Stratification des chênes lièges en fonction du pourcentage des tiges levées

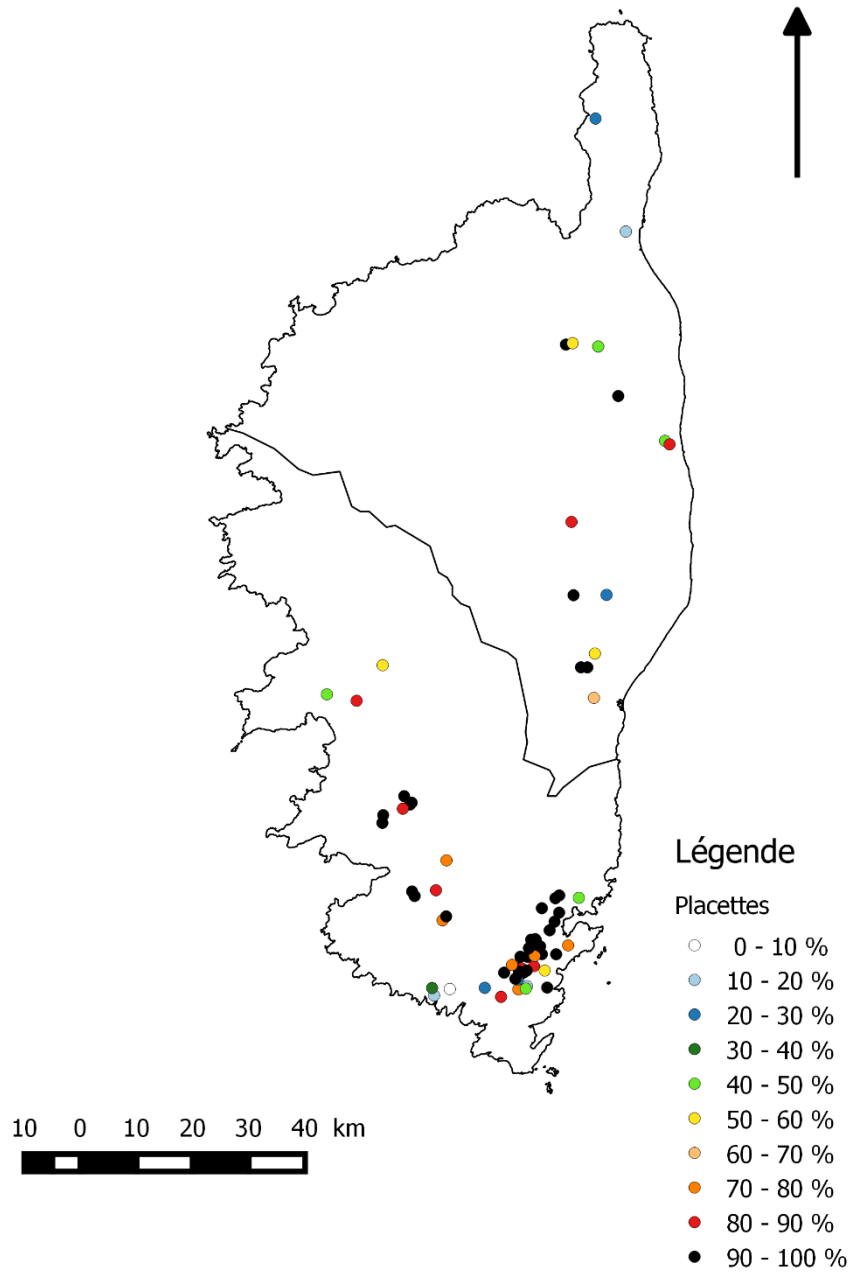


Figure 19 - Répartition des placettes exploitées pour le liège

## Répartition des placettes en fonction de l'épaisseur du liège femelle

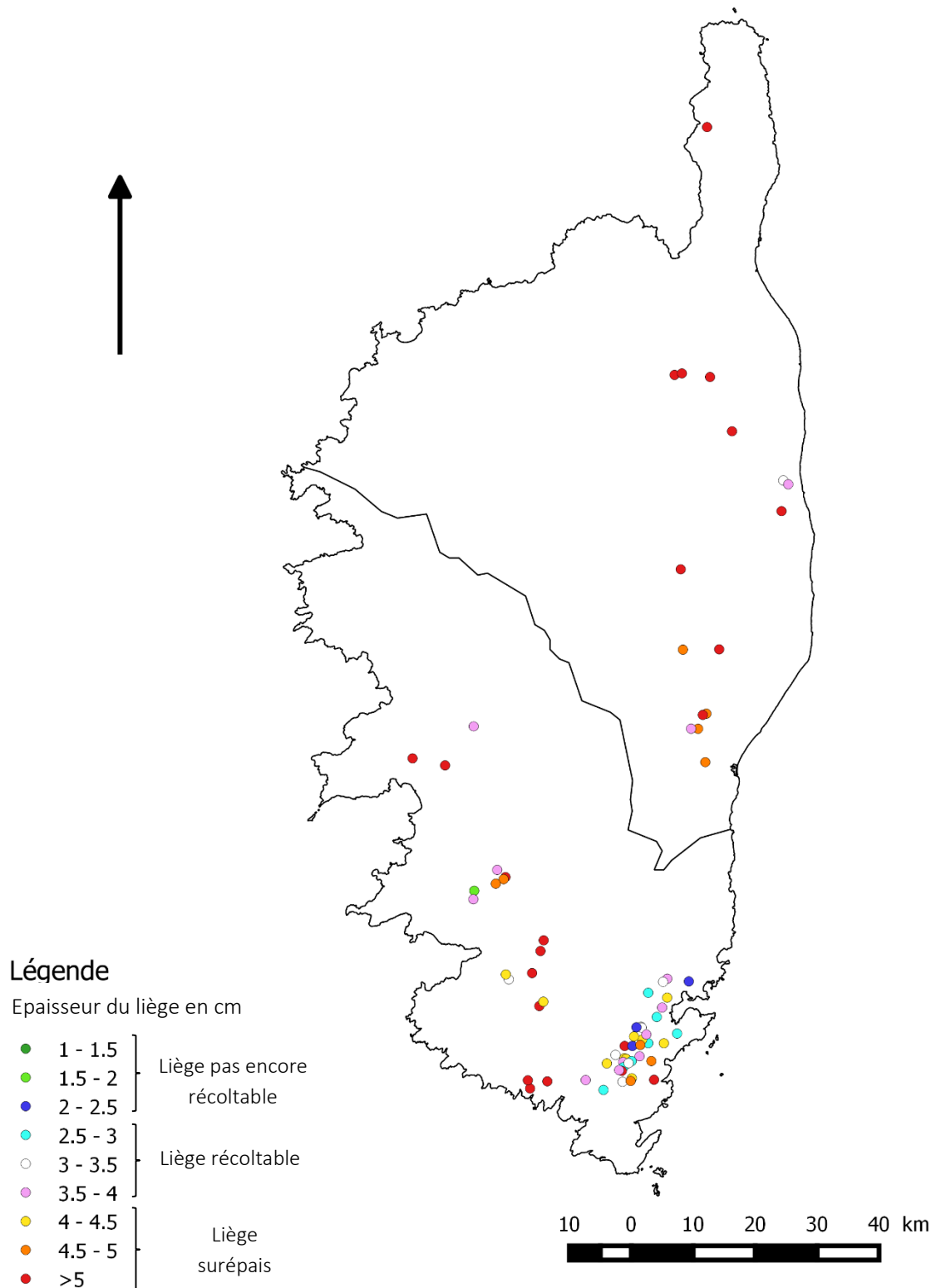


Figure 20 - Répartition des placettes en fonction de l'épaisseur en centimètre du liège femelle

## Analyse

La figure 20 présente la répartition des placettes en fonction de l'épaisseur en centimètre du liège femelle avec les catégories suivantes :

- 6 % de liège femelle pas encore récoltable (compris entre 1 et 2,5 cm d'épaisseur)
- 39 % de liège femelle récoltable (compris entre 2,5 et 4 cm d'épaisseur)
- 55 % de liège femelle surépais (supérieur à 4 cm d'épaisseur)

De plus cette figure précise que la proportion de liège femelle pas encore récoltable et récoltable (compris entre 1 et 4 cm d'épaisseur) est plus importante dans la région de Porto-Vecchio, montrant que les chênes lièges sont levés plus souvent et plus récemment dans cette zone de la Corse, ce qui nous précise la zone d'activité du liège sur l'île. La présence de liège pas encore récoltable montre qu'il y a eu une activité de levée de liège dans les 7 à 10 dernières années. Dans l'ensemble des placettes restantes le liège est surépais. L'analyse de cette carte permet de démontrer la présence d'une activité de levée de liège récente et passée sur l'ensemble de l'aire de répartition du chêne liège en Corse et montre que la zone d'exploitation actuelle du liège se situe dans l'Extrême Sud de la Corse dans la région de Porto-Vecchio.

### Répartition des placettes en fonction de l'épaisseur du liège femelle dans la région de Porto-Vecchio

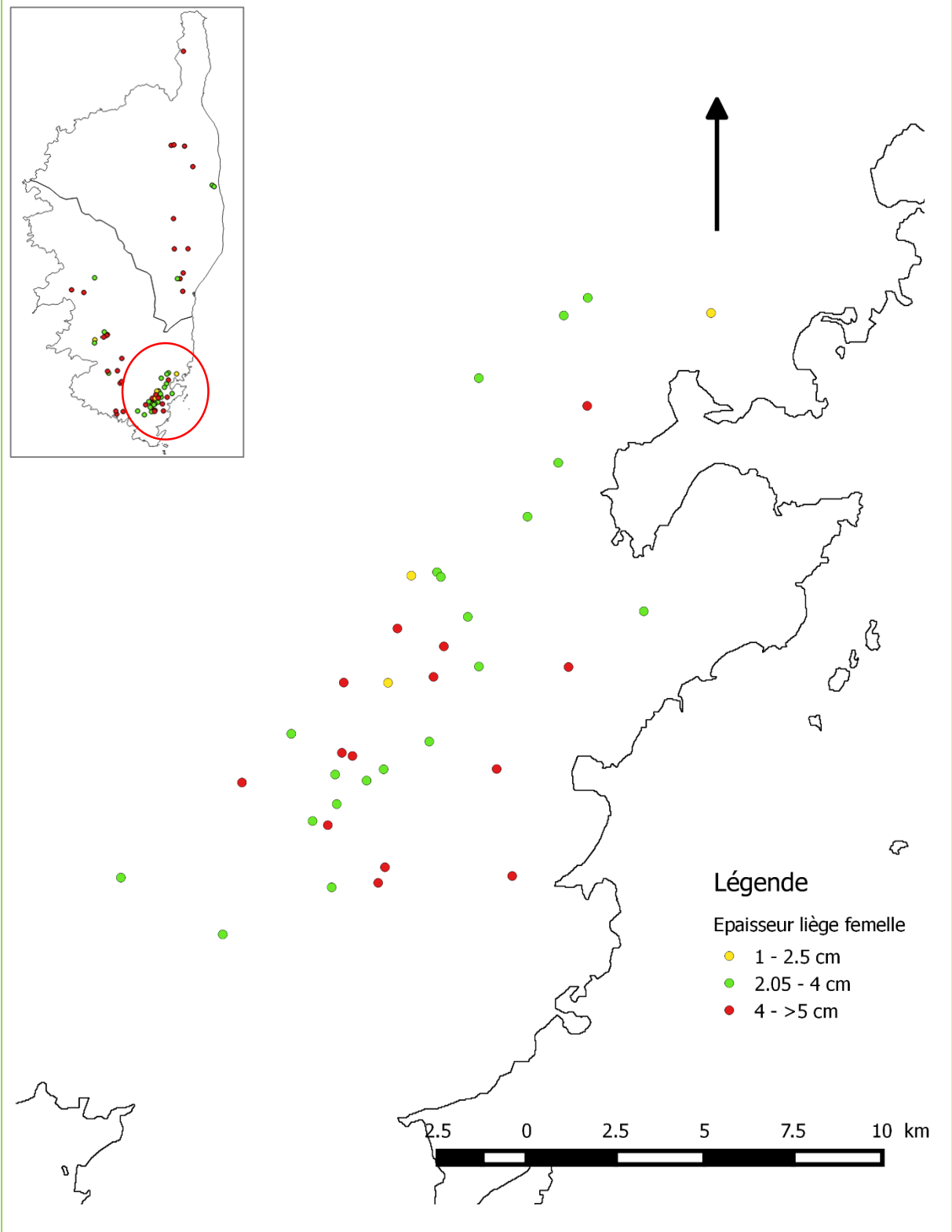


Figure 21 - Répartition des placettes en fonction de l'épaisseur en centimètre du liège femelle dans la région de Porto-Vecchio

## Analyse

La figure 21 indique la répartition suivante dans la région de Porto-Vecchio :

- 8 % de liège femelle pas encore récoltable (compris entre 1 et 2,5 cm d'épaisseur)
- 54 % de liège femelle récoltable (compris entre 2,5 et 4 cm d'épaisseur)
- 38 % de liège surépais (supérieur à 4 cm d'épaisseur).

Plus de la moitié des placettes ont un liège récoltable actuellement. 64 % des placettes prouvent l'existence d'une activité récente de levée de liège dans cette micro-région.



## Répartition des placettes en fonction de l'âge estimé du liège femelle

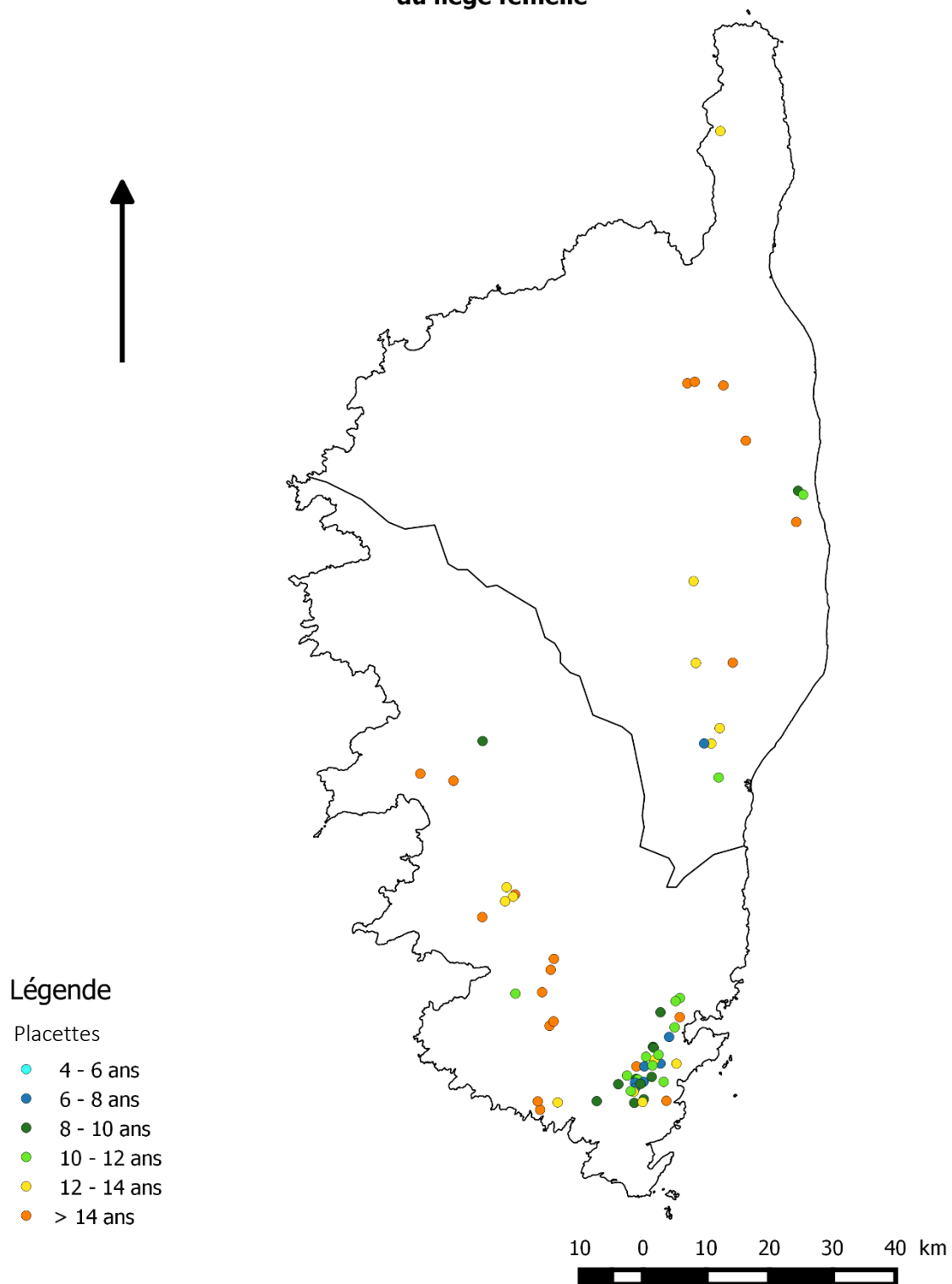


Figure 22 - Répartition des placettes en fonction de l'âge estimé du liège femelle

## Analyse

La figure 22 (comme les figure 20 et 21) montre bien la dominance du lieu d'exploitation du liège en Corse. La zone d'activité du liège la plus dynamique se situe dans l'Extrême Sud à proximité des industriels sardes. Il est intéressant de remarquer la présence d'un gradient dans l'exploitation au fur et au mesure que l'on s'éloigne de l'île voisine, ce qui laisse présager un trop fort coût de transport lorsque les propriétés de chênes lièges sont loin de la Sardaigne.

### 5.1.3. Les dépérissements

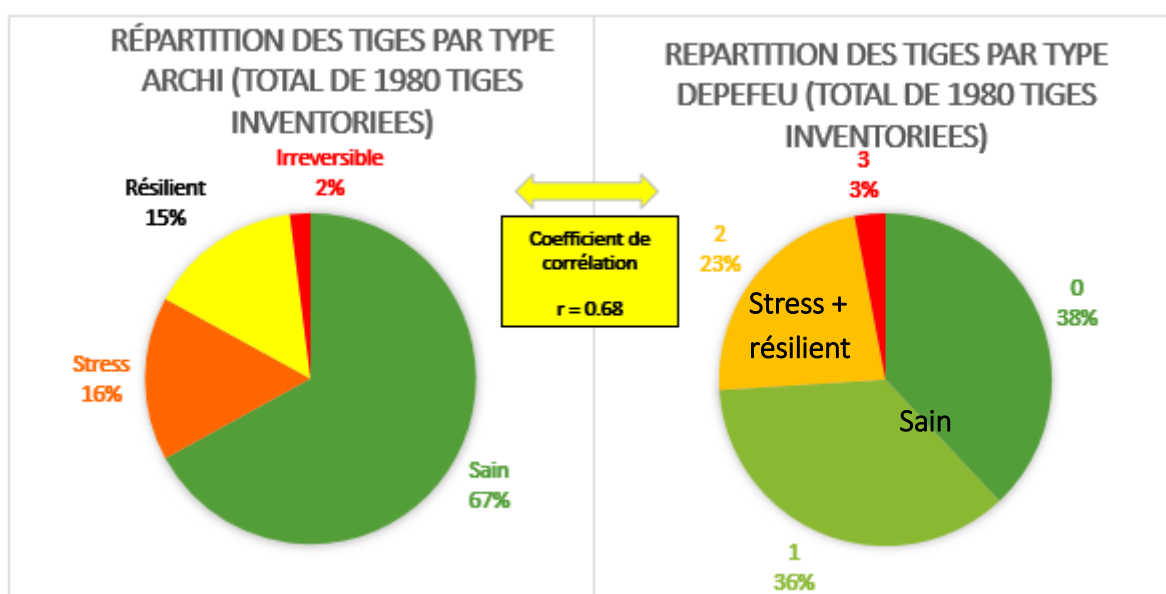


Figure 23 - Répartition des chênes lièges en fonction de leurs classes ARCHI et DEPEFEU

## Analyse

A l'échelle des tiges très peu de dépérissements irréversibles sont constatés. Les tiges saines sont les plus représentées avec :

- 74% de sains avec le protocole DEPEFEU (classes 0 et 1)
- 67% de sains avec le protocole ARCHI.

Cependant on remarque qu'il y a une part significative de tiges stressées ou qui ont répondu positivement suite à un stress (résilientes) :

- 30 % de tiges stressées et résilientes avec le protocole ARCHI
- 20 % de tiges stressées et en classe 2 (stress + résilient) avec le protocole DEPEFEU.

Le coefficient de corrélation montre bien que les deux méthodes sont très liées, il est donc possible d'utiliser l'une ou l'autre sans avoir de résultats contradictoires sur l'état sanitaire des arbres.

## Pourcentage d'individus sains dans chaque placette

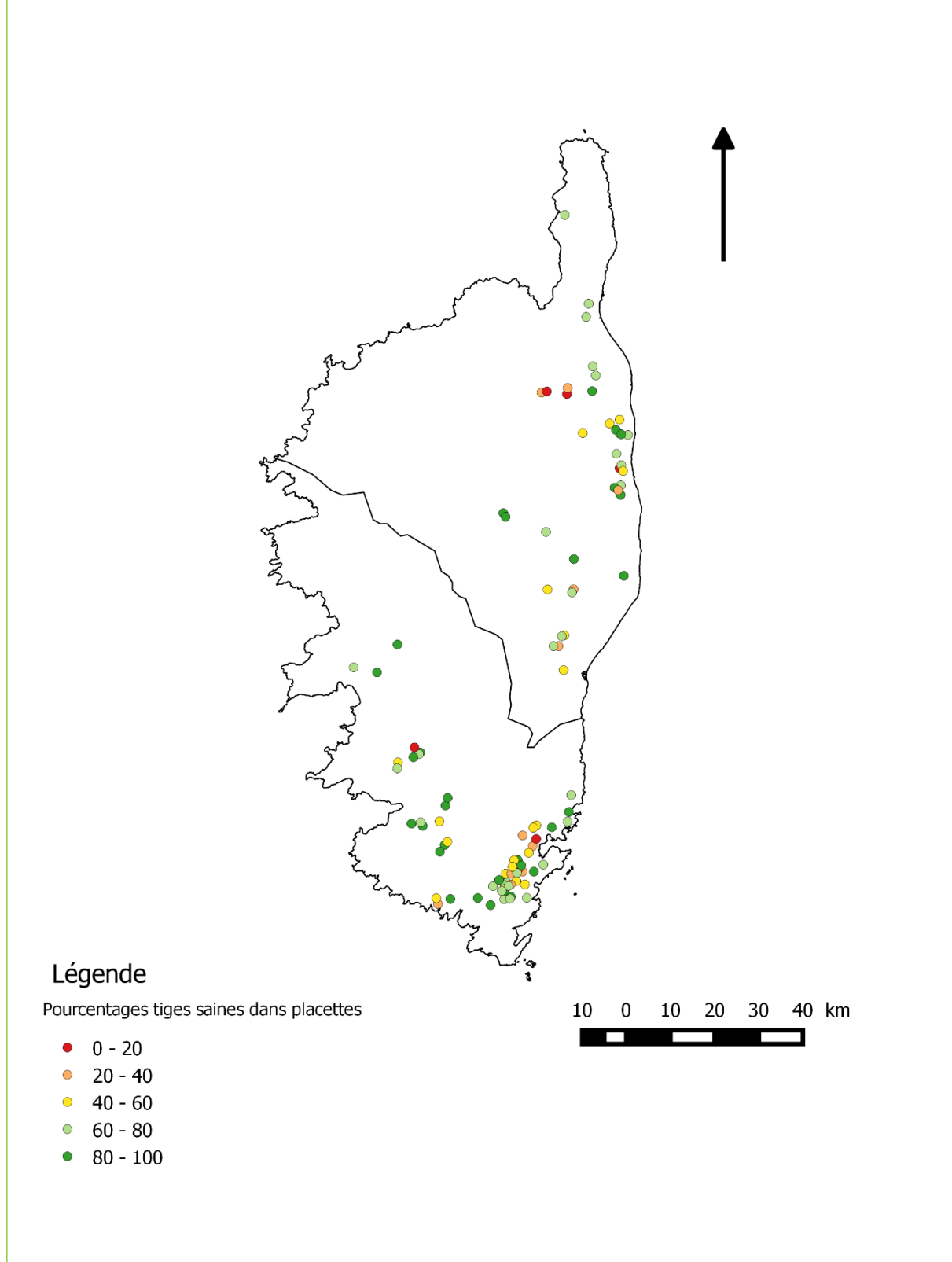


Figure 24 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges saines (classes 0 et 1 DEPEFEU)

## Analyse

Pour qu'une placette soit qualifiée dépérissante de manière irréversible il faut qu'au moins 20% de ses tiges sont en classe 3 de DEPFEU et dépérissantes irréversibles avec le protocole ARCHI.

Sur la figure 24, une placette classée 0-20% de tiges saines, par exemple, ne veut pas automatiquement dire qu'elle est dépérissante car elle peut comporter des tiges stressées, résilientes, en descente de cime ou encore en dépérissement irréversible.

La figure 25 montre également qu'il y a plusieurs noyaux avec une variabilité où sont présentes des placettes possédant une faible proportion de tiges saines (0-20%).

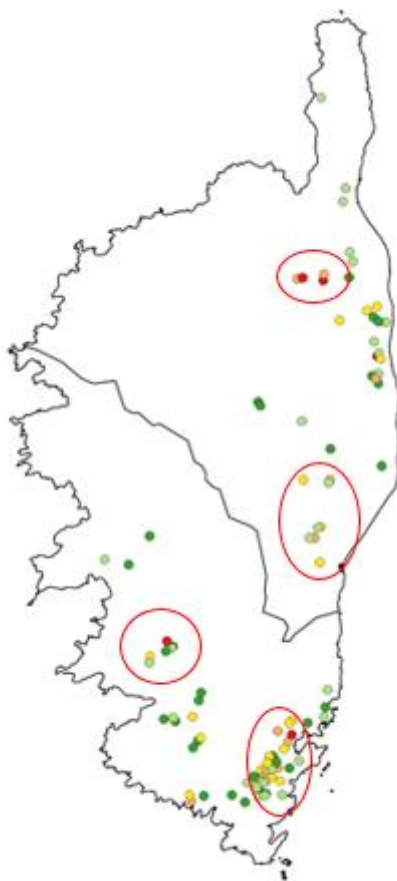


Figure 25 - Zonage des placettes non saines sur la Corse

### Pourcentage d'individus stressés dans chaque placette

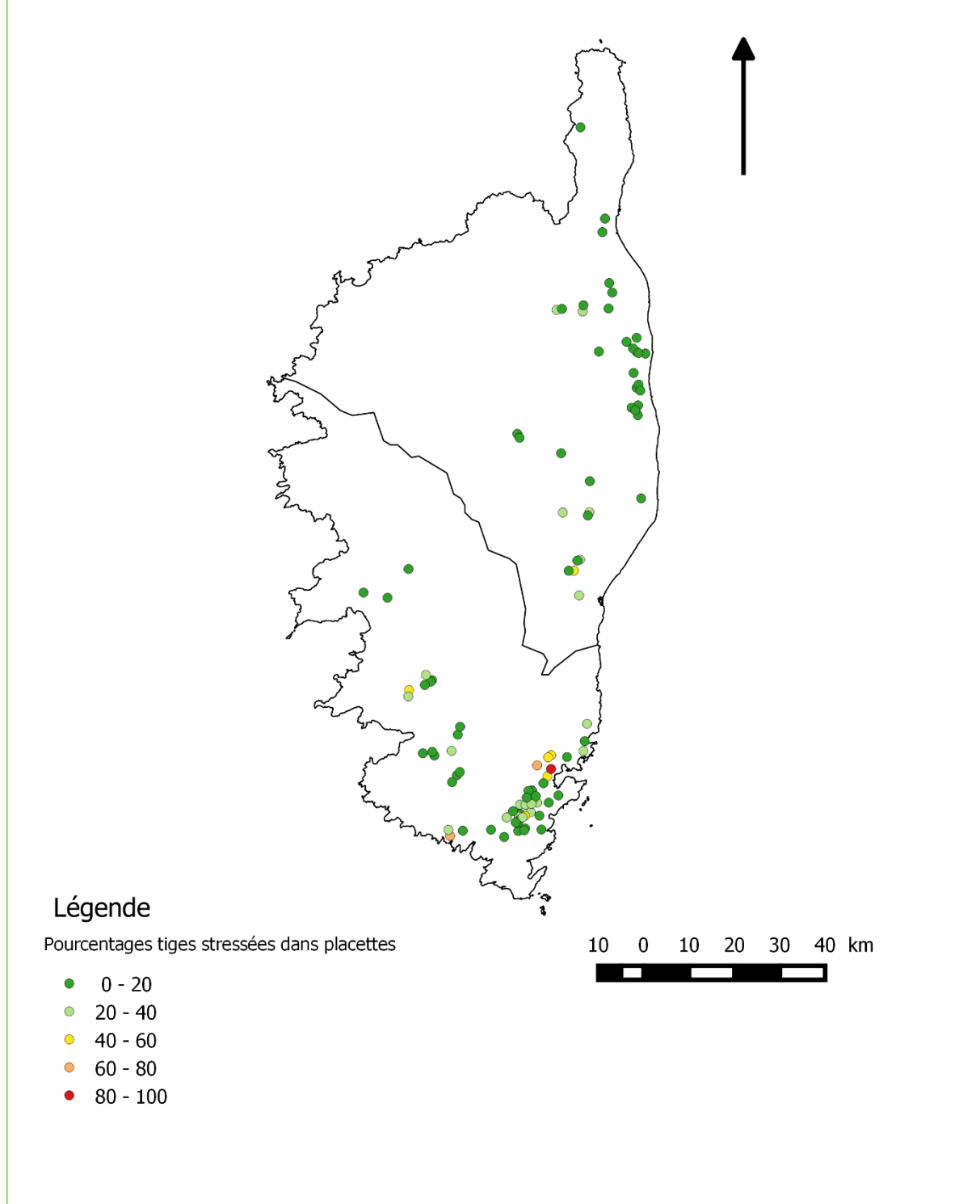


Figure 26 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges stressées (classe 2 DEPEFEU)

## Analyse

Les tiges stressées sont présentes dans le Sud au cœur de l'exploitation du liège.

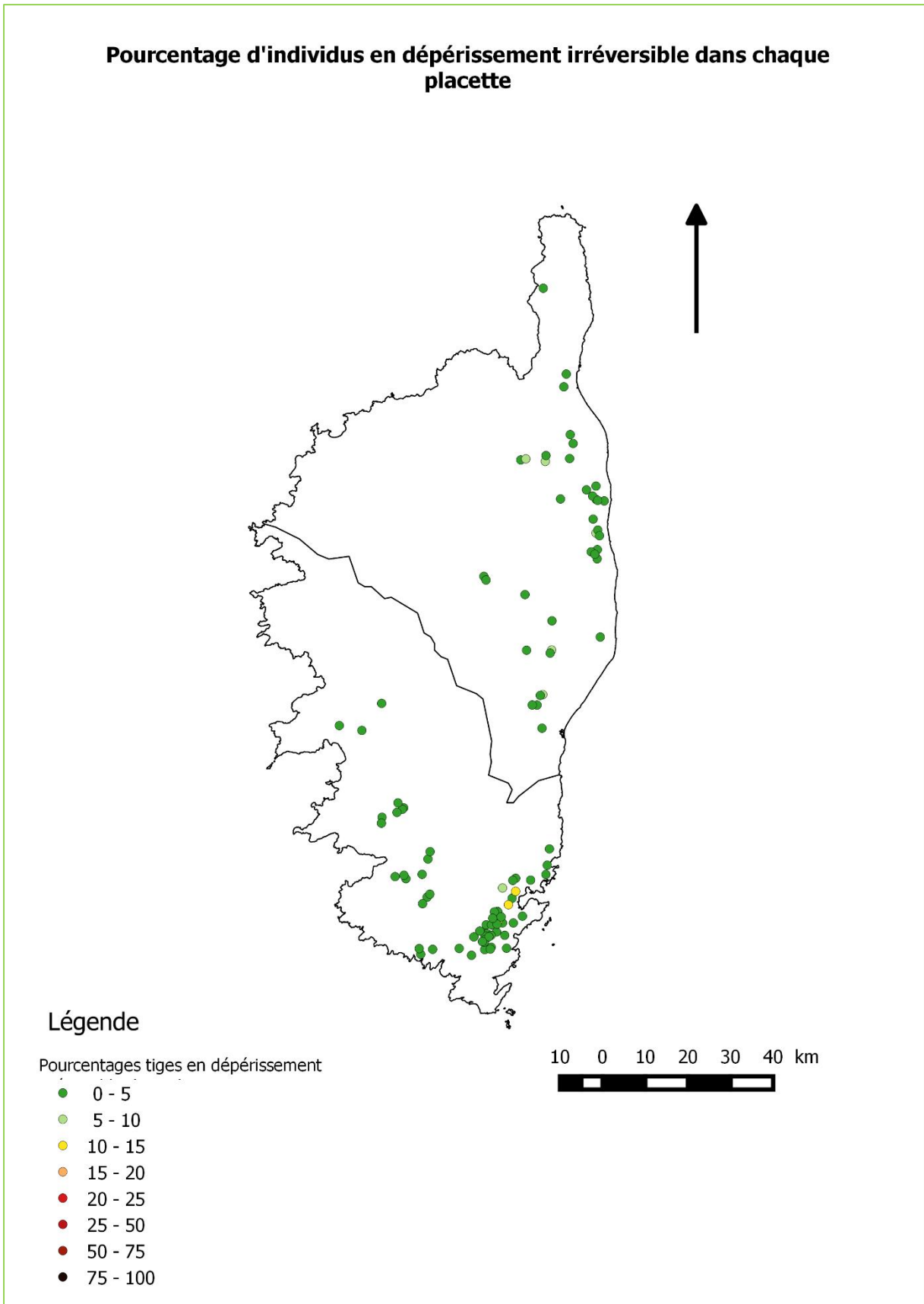


Figure 27 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges en dépérissements irréversibles (classe 3 DEPEFEU)



## Pourcentage d'individus en descente de cime dans chaque placette

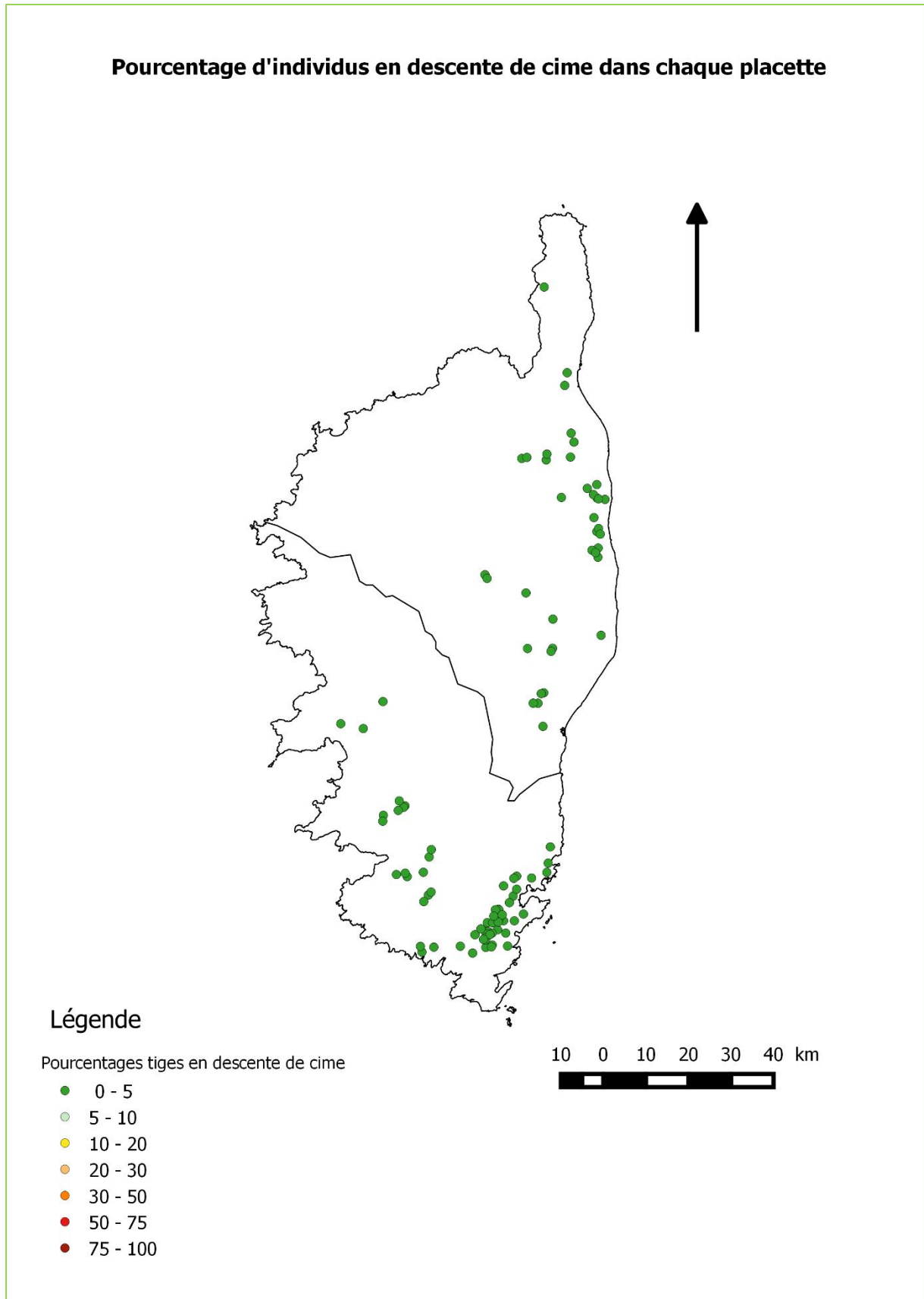


Figure 28 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges en descente de cime (classe 2 DEPEFEU)

### Pourcentage d'individus résilients dans chaque placette

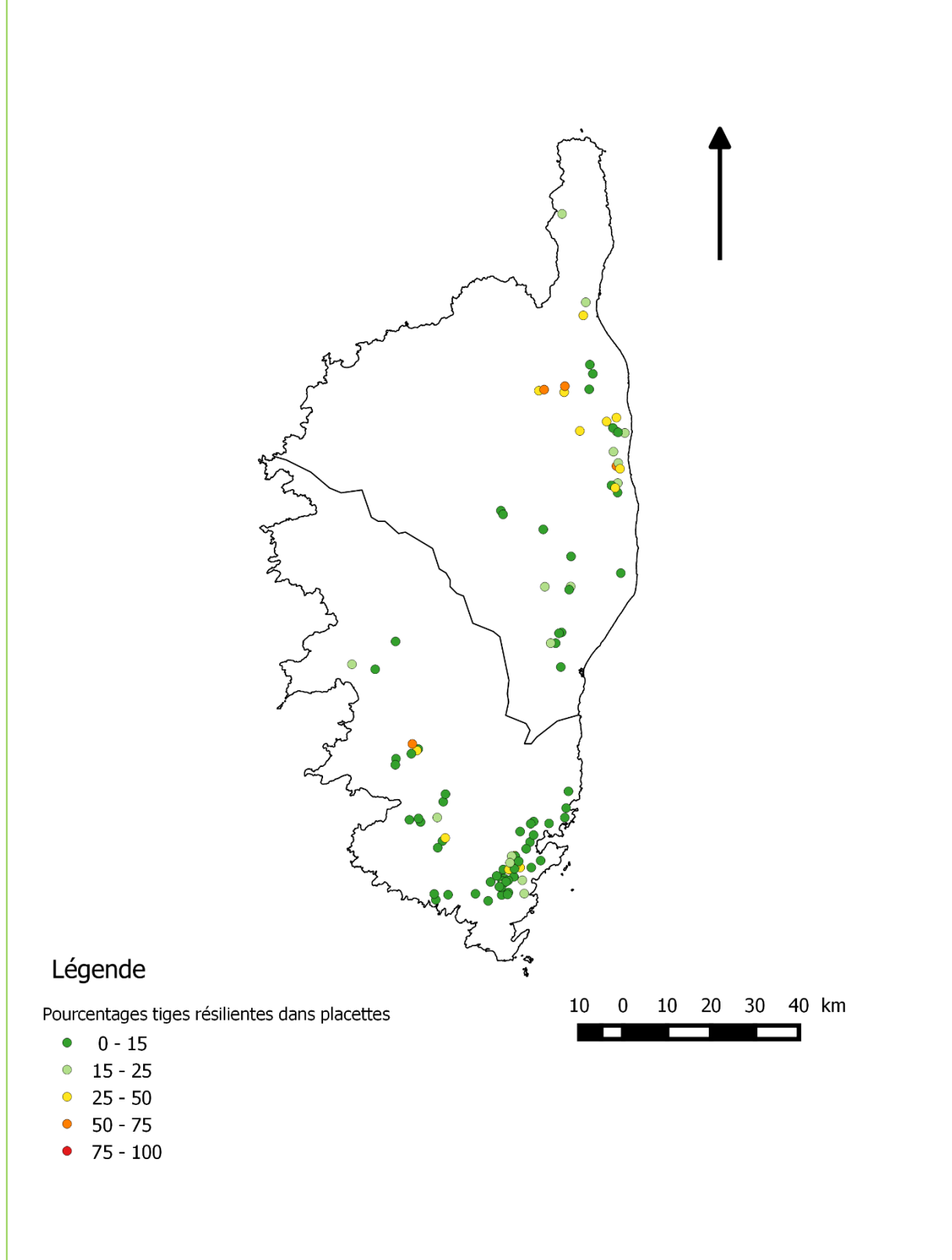


Figure 29 - Répartition des placettes en fonction du pourcentage de tiges résilients (classe 2 DEPEFEU)

## Analyse

Sur la figure 29 on remarque qu'un certain nombre de placettes a subi une situation de stress à un moment donné mais l'essence a su réagir et montrer des tiges résilientes jusqu'à 50 à 75% dans une placette (couleur orange) particulièrement en Haute-Corse.

A noter qu'un pourcentage de résilience inférieur à 25% ne veut pas dire que les autres tiges sont dépérissantes ou stressées ou saines.

Des photographies d'arbres stressés et dépérissants ont été prises lors des relevés terrain.

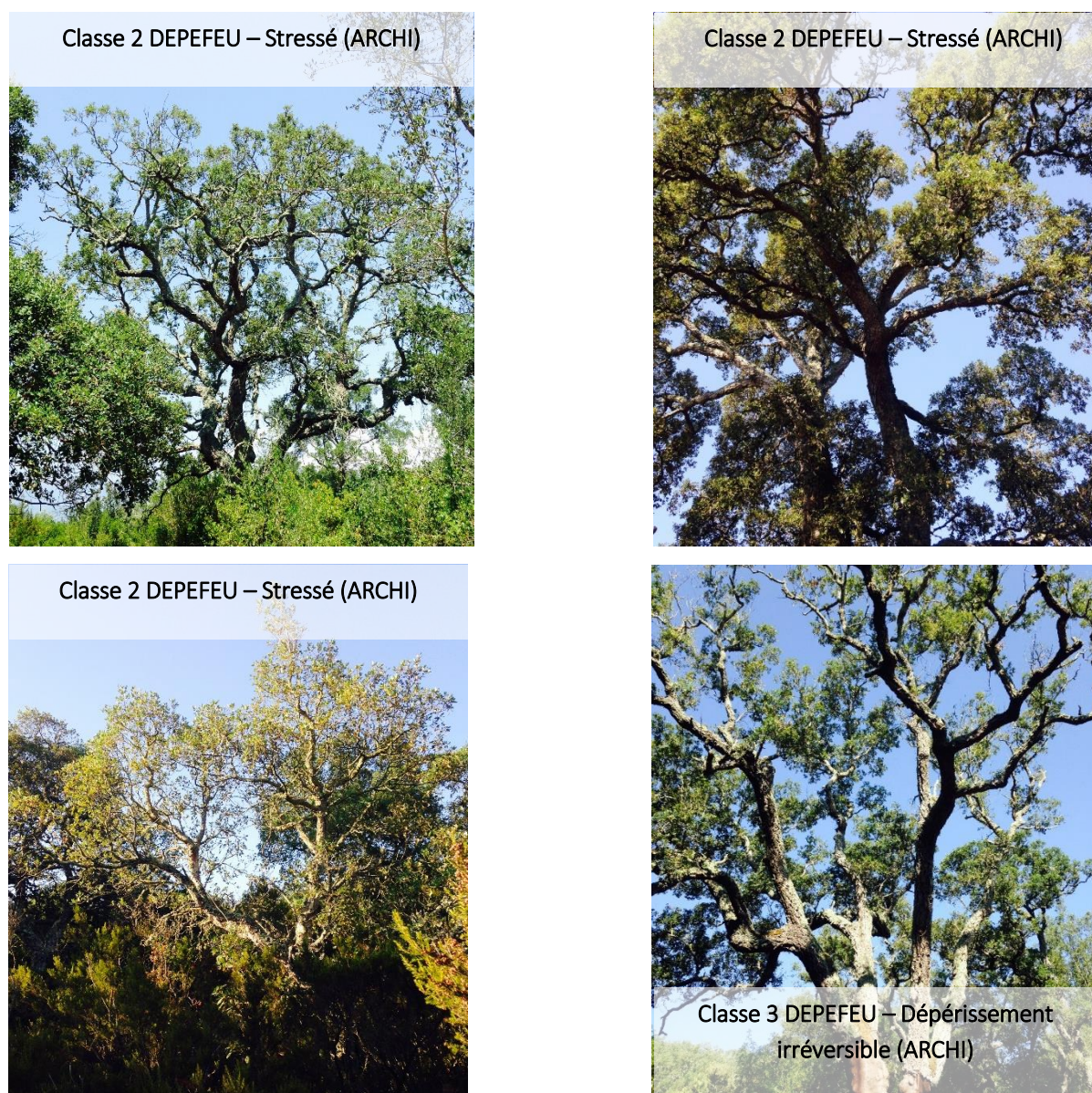


Figure 30 - Arbres stressés et dépérissants sur quatre placettes

#### 5.1.4. Lien entre le diamètre des arbres et le nombre de levée de liège pour les chênes lièges exploités

Il aurait été intéressant d'établir un lien entre les diamètres mesurés des chênes lièges et leur nombre respectif de levées de liège. L'historique des levées successives a été effacé au fur et à mesure que le leveur de liège est « remonté » en hauteur sur le tronc de l'arbre pour prélever une surface plus importante de liège que la fois précédente. Nous n'avons donc pas pu établir un lien pertinent entre le diamètre du chêne liège et le nombre de levée de liège, lien qui nous aurait permis d'identifier les zones où un repage aurait pu être possible au vue du nombre de levées de liège déjà effectuées. En effet, selon les arbres et les stations il est recommandé de ne lever qu'une dizaine de fois un chêne liège au cours de son existence, car au-delà il n'est plus intéressant de le faire car celui-ci subit beaucoup trop d'impacts conduisant à son dépérissement de manière irréversible.

#### 5.1.5. Lien entre l'âge du liège et sa croissance

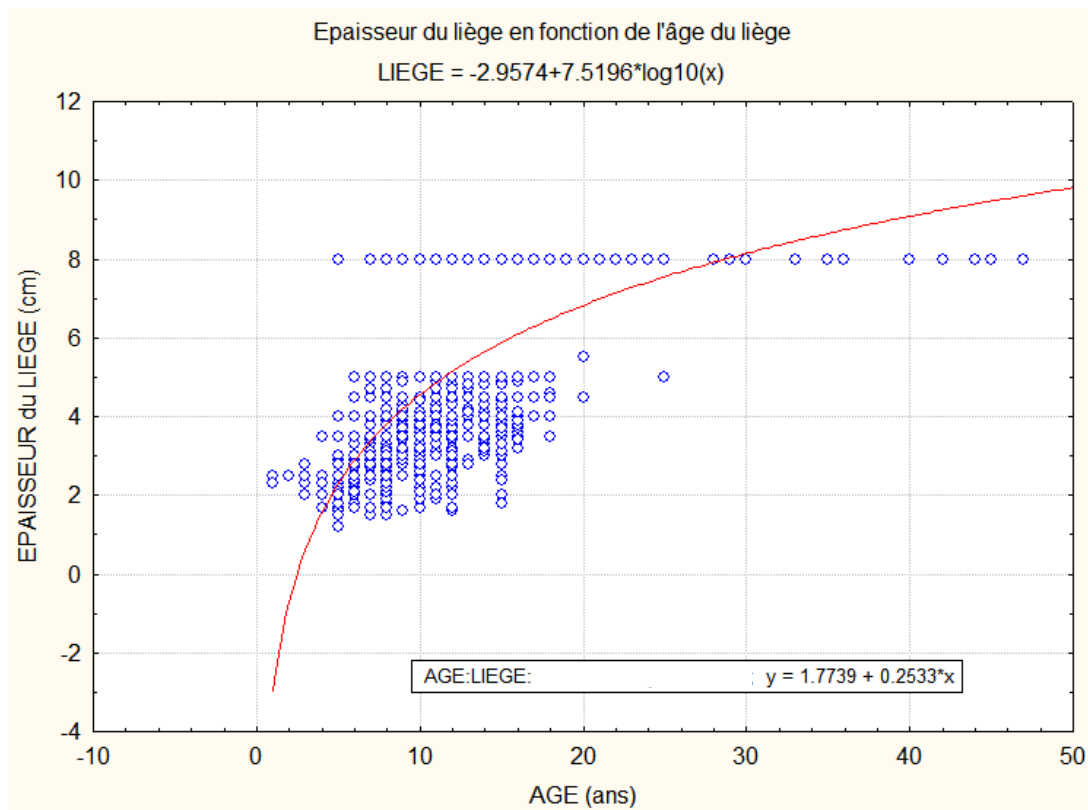


Figure 31 - Epaisseur du liège en fonction de son âge pour chaque chêne liège des placettes inventoriées

Un lien a tenté d'être établi entre l'épaisseur et l'âge du liège pour l'ensemble des 1980 arbres des placettes inventoriées, cependant il existe une forte variabilité entre les deux. Nous savons qu'il existe une relation entre la croissance et l'épaisseur du liège : plus le liège est « vieux » plus il est épais. Cependant il faudrait corrélérer cette courbe à des données de station que nous ne possédons pas pour obtenir des courbes plus significatives par type de station.

Il faut toutefois noter qu'à partir de 5 cm d'épaisseur nous avons une perte importante d'information. En effet, notre jaugeur d'écorce étant plafonné à une mesure de 5 cm nous n'avons pas pu mesurer l'épaisseur du liège allant au-delà de cette valeur sur un certain nombre de placettes. Sur la valeur notée « >5 », une valeur artificielle de 8 cm a été attribuée.

## 5.2. Un effet très fort de l'exploitation

Afin de déterminer les facteurs influant sur les dépérissements des chênes lièges une analyse multivariée a été utilisée en composantes principales (ACP).

Il est important de savoir s'il existe une corrélation entre l'exploitation du liège et les dépérissements des chênes lièges. A savoir que les chênes lièges exploités sont désignés par les lièges femelles, et les non exploités par les lièges mâles.

L'objectif est d'établir le lien entre le taux de dépérissement des peuplements, (exprimé en pourcentage d'arbres classés 2 et 3 du protocole DEPEFEU) et l'exploitation du liège (mâle et femelle).

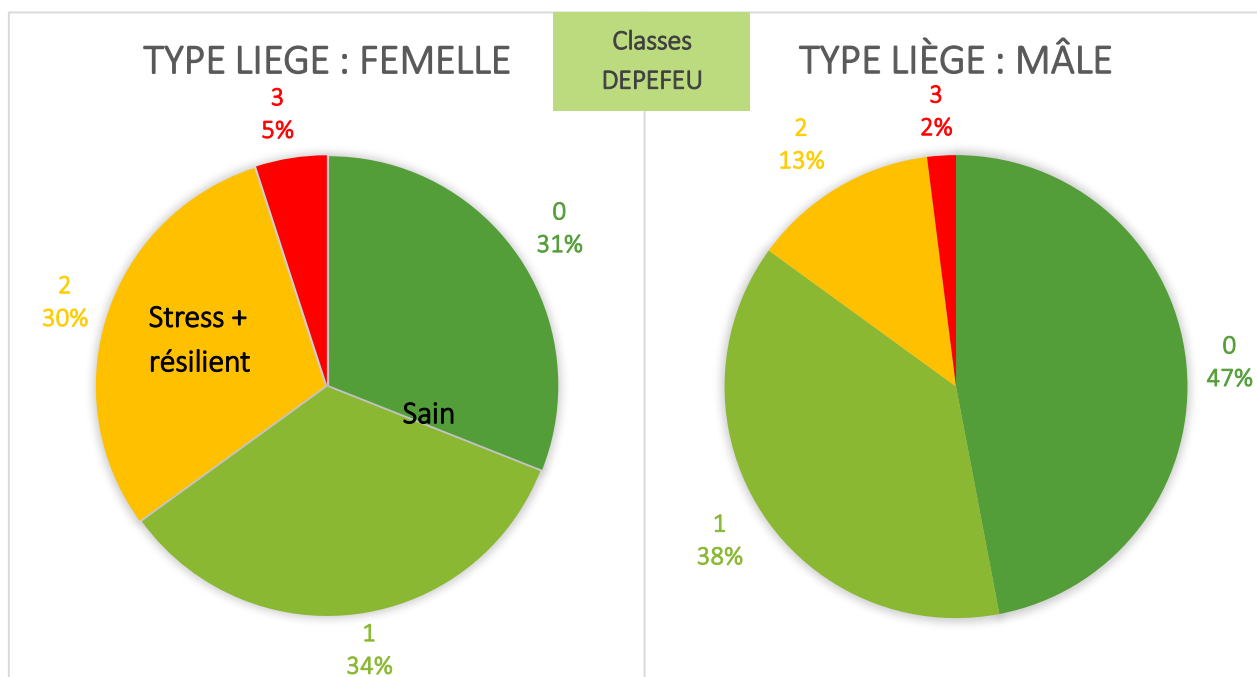


Figure 32 - Répartition des classes de DEPEFEU en fonction du type de liège sur les placettes inventoriées

Pour éviter de conclure hâtivement sur le lien direct entre l'exploitation du liège et les dépérissements observés, il est essentiel d'isoler les chênes lièges exploités de tous les autres pour faire ressortir, par analyse statistique, une éventuelle variable responsable des dépérissements.

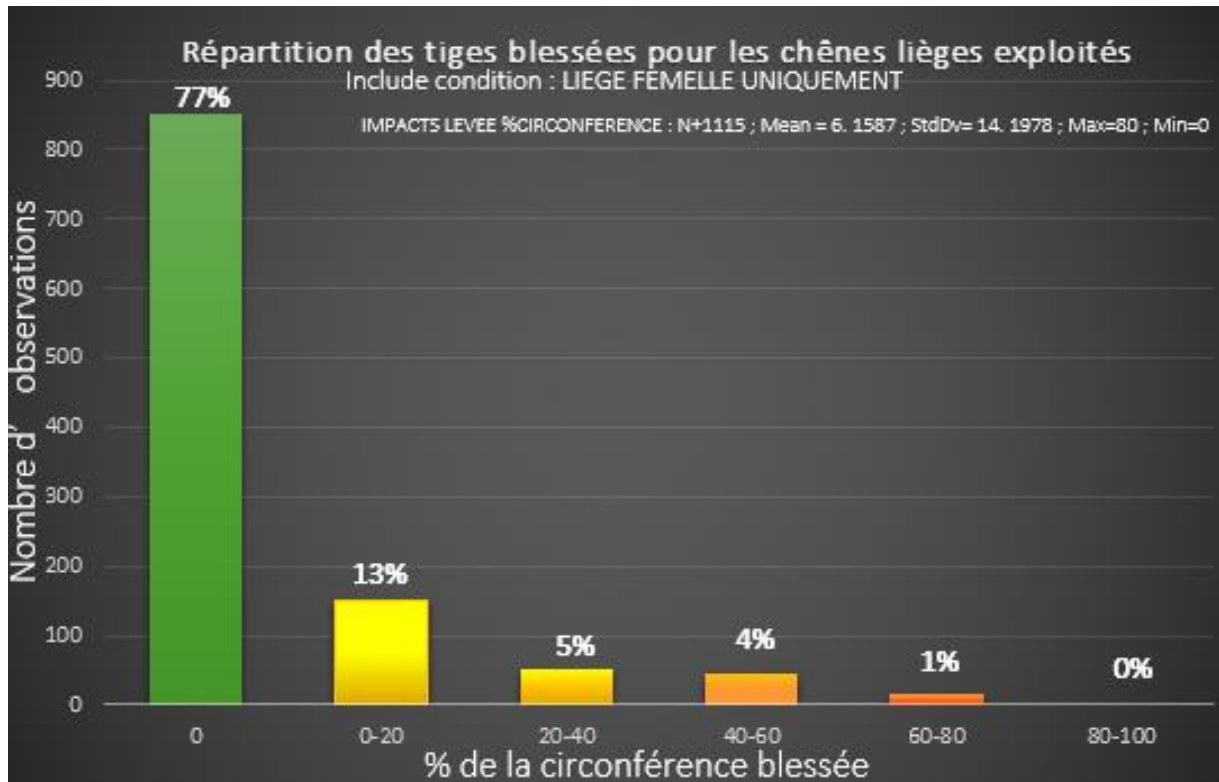


Figure 33 - Répartition des tiges blessées pour les chênes lièges exploités

Ce graphique représente la répartition des tiges en fonction du pourcentage de la circonférence de l'arbre qui a été affectée par une blessure (uniquement sur les arbres levés).

77% des arbres dont le liège a été levé ne présentent pas de blessures ce qui traduit tout de même un travail de qualité des leveurs. Cependant un quart des arbres restants ont été blessés et 10% d'entre eux ont plus de 20% de la circonférence du tronc touchés. Un test statistique a montré que les dépérissements observés sont liés aux blessures lors d'une levée.

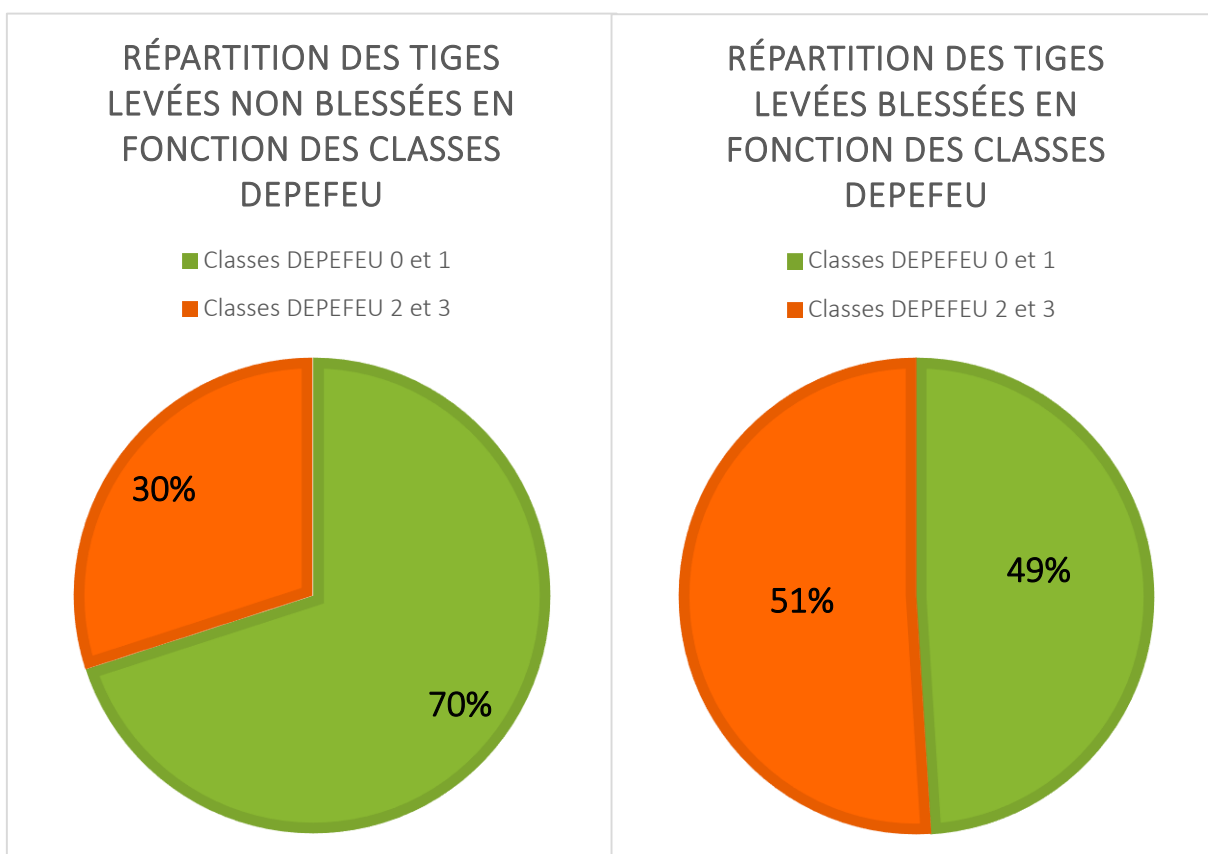


Figure 34 - Répartition des tiges levées en fonction des levées et classes DEPEFEU

### Analyse

Sur les 77% de tiges levées et non blessées, 30% sont en classes DEPEFEU 2 et 3, nous verrons plus tard quelle analyse il en sera fait au paragraphe 5.3. . Sur les 23% de tiges levées et blessées (13+5+4+1%), 51% sont en classes DEPEFEU 2 et 3.

**Une tige sur 2 blessée lors d'une levée de liège déperit.**



### Stratification des chênes lièges exploités en fonction du pourcentage du tronc impacté par des blessures liées aux levées

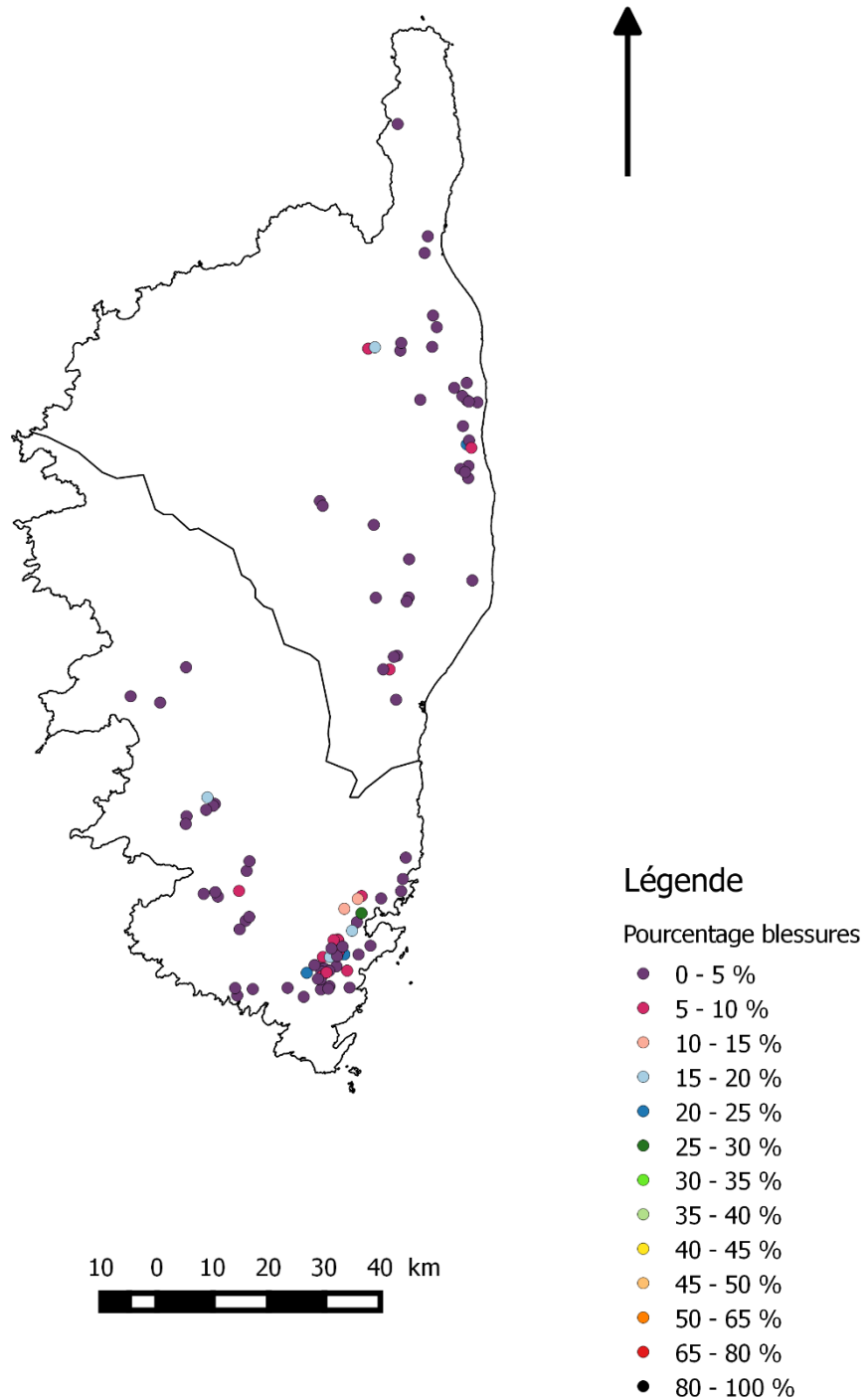


Figure 35 - Stratification des chênes lièges exploités en fonction du pourcentage du tronc blessé suite aux levées sur les placettes inventoriées

## Analyse

Dans l'ensemble des variables qui ont été analysées le premier critère expliquant le dépérissement qui est ressorti est le fait que le liège soit exploité ou non, et c'est particulièrement là où il est exploité que les dépérissements sont les plus nombreux (figures 24 à 26 et 33-34). Les lièges qui n'ont pas été levés ont un pourcentage plus important d'individus sains : 85% pour les lièges mâles (DEPEFEU 0 et 1) contre 65% pour les lièges femelles (figure 32).

Le quart des placettes dont les arbres sont affectés par une blessure suite à une levée de liège présentent des dépérissements de type stress ou dépérissement irréversible, cela signifie qu'une mauvaise levée impacte fortement l'état sanitaire des chênes lièges, elle induit forcément un stress majeur pour l'arbre.

Les zones les plus dépérissantes se situent dans l'Extrême Sud et la région de Porto-Vecchio, à savoir le cœur de l'exploitation actuelle du liège.

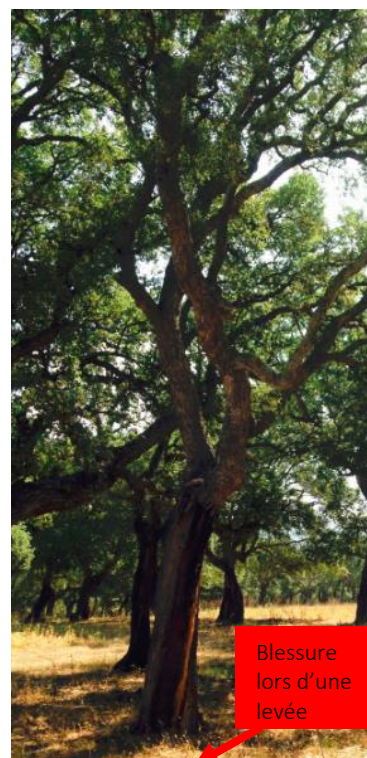


Figure 36 - Arbre blessé lors d'une levée de liège, placette région de Porto-Vecchio

### 5.3. Un effet de l'emmaquisement

Pour savoir s'il existe un autre facteur influant sur les dépérissements des chênes lièges, les données récoltées ont été traitées avec une analyse de variances (ANOVA) en excluant les tiges blessées.

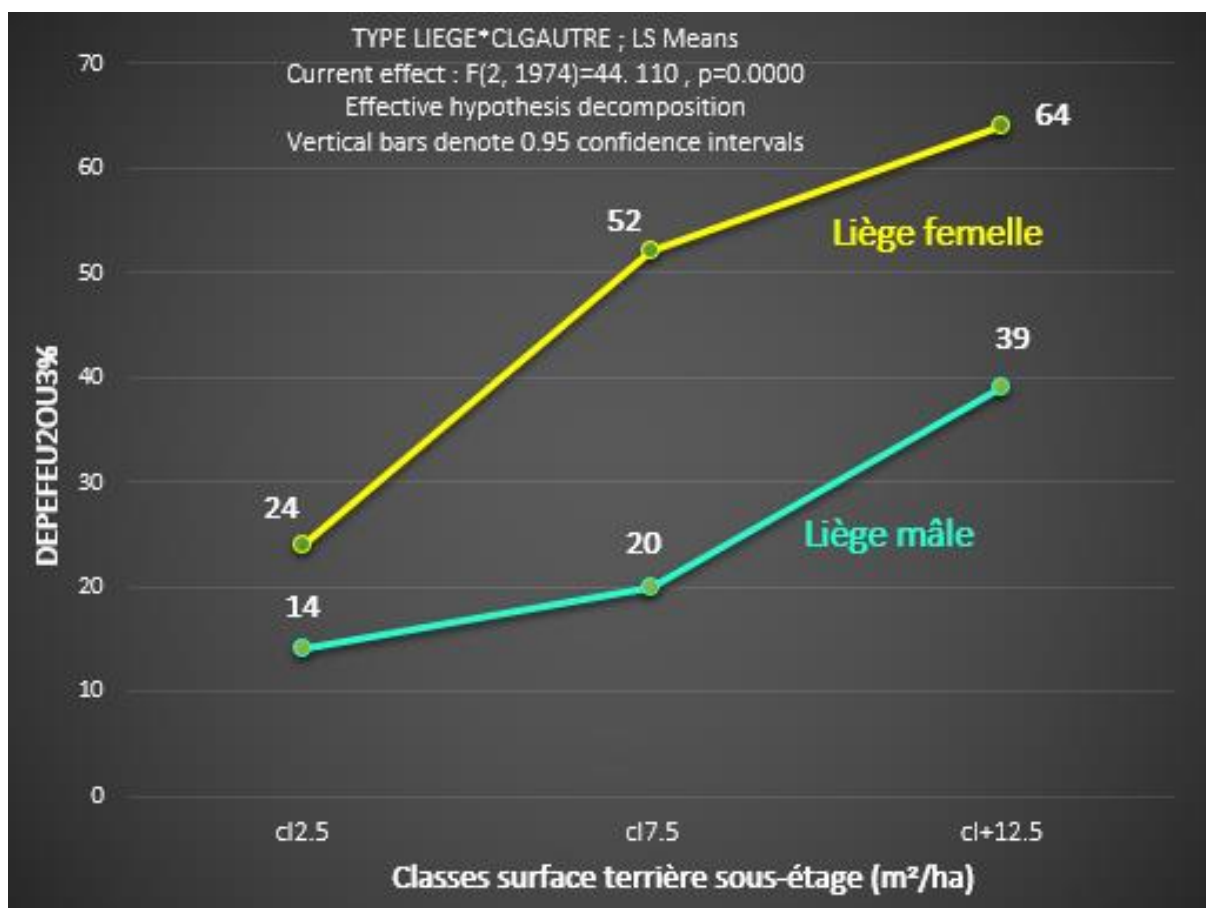
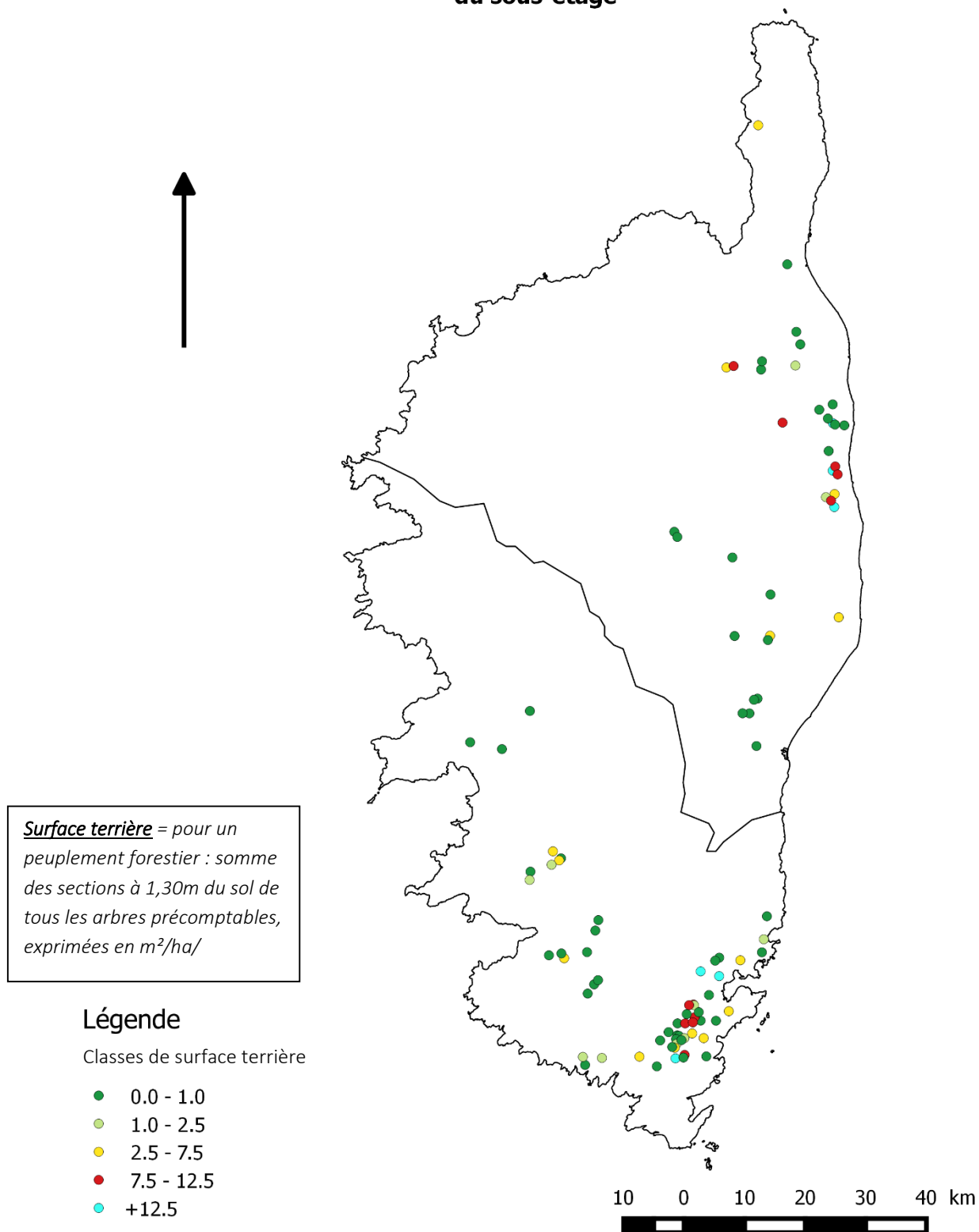


Figure 37 - ANOVA des tiges femelles et mâles en fonction des classes DEPEFEU 2 et 3 et des classes de surface terrière du sous-étage des placettes inventoriées

## Répartition des placettes en fonction de l'importance de la surface terrière du sous-étage



## Analyse

Pour savoir s'il existe un autre facteur que l'impact des mauvaises levées sur les dépérissements des chênes lièges, les données récoltées ont été traitées avec une ANOVA en excluant les tiges blessées. La surface terrière des essences secondaires présentes dans les 99 placettes inventoriées a été mise en relation avec l'ensemble des tiges dépérissantes c'est-à-dire en classes 2 et 3 de DEPEFEU afin de voir s'il existait un effet de concurrence de ces essences sur les dépérissements. La figure 37 montre que plus la concurrence du maquis et



Figure 39 - Placette envahie par le maquis dans la région du Taravo

des essences secondaires est importante, celle-ci étant matérialisée par l'augmentation de la surface terrière des autres essences, plus les dépérissements sont importants, ce phénomène est d'autant plus accentué lorsque les chênes lièges sont levés.

Le pourcentage de tiges dépérissantes est quasiment multiplié par trois lorsque le maquis et les essences secondaires envahissent les subéraies et imposent leur concurrence aux chênes lièges.

Les analyses de variance (ANOVA) montrent une corrélation nette entre le dépérissement des chênes lièges et l'envahissement du sous-étage. Cela valide ce que nous connaissons déjà sur la sylviculture des subéraies, à savoir que c'est un peuplement qui a besoin de l'intervention humaine pour prospérer, notamment pas le débroussaillage, le démaquisage et par l'élimination des essences concurrentes.

Un sous-étage trop important induit une forte concurrence pour l'eau, le sol, mais également pour la lumière. Le chêne liège est une essence héliophile, de pleine lumière, qui a un recouvrement optimal de la strate arborée se situant à 60%. Au-delà la trop forte concurrence limite la production du liège et diminue les ressources du sol et l'apport de lumière.

## 5.4. Effet du bilan hydrique

Une analyse de variance a été appliquée aux peuplements non blessés dans le but de voir si le bilan hydrique influe sur les dépérissements des chênes lièges.

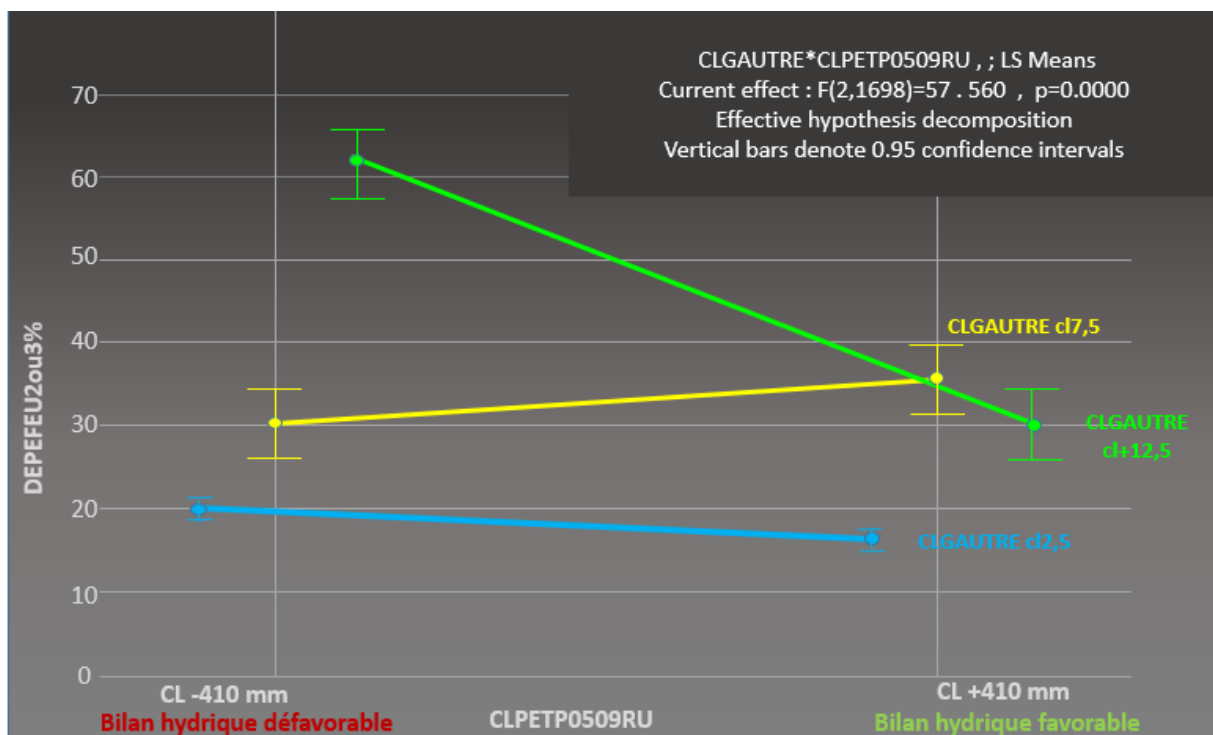


Figure 40 - ANOVA des classes de surface terrière du sous-étage en fonction des classes DEPEFEU 2et 3 et du bilan hydrique ((P-ETP)+RU) des placettes inventoriées

On peut voir que dans la zone la plus déficitaire du bilan hydrique, c'est-à-dire « CL <- 410 », lorsque la surface terrière du sous-étage est importante (CL+12,5), le nombre de tiges dépérissantes au sein des placettes augmente considérablement. La tendance inverse de la courbe CL7,5 n'est pas significative pour l'interprétation.

## Analyse

Il y a un effet fort et cumulatif du bilan hydrique et du sous-étage dans les subéraies : dans les zones défavorables, si le maquis et les essences secondaires envahissent les chênes lièges alors les dépérissements sont d'autant plus importants et croissants.

## 6. Carte de vigilance

---

A partir de l'analyse de toutes les données, quatre cartes de vigilance ont été établies. Elles permettent de définir la probabilité d'avoir du dépérissement dans la subéraie corse à partir des données climatiques, pour les peuplements exploités mais non blessés par des levées et qui sont entretenus (pas ou peu de sous-étage), selon les scénarii suivants : hier, +1°C, +2°C, +4°C, ce qui nous permet de nous concentrer sur la variable climatique uniquement.

Nous avons cependant dû adapter les cartes de vigilance aux réalités du terrain, en effet en raison de l'absence de placettes dépérissantes (c'est-à-dire une placette dont 20 % des arbres sont dépérissants irréversiblement) le seuil de dépérissement a été réduit, il est passé de 20 % de tiges dépérissantes irréversibles à un seuil de 10 % de tiges stressées et dépérissantes irréversibles.

Afin de réaliser les cartes de vigilance la valeur de la moyenne de toutes les Réserves Utiles Minimales (RUM = 70 mm) de l'ensemble des placettes a été ajoutée à l'ensemble des valeurs du bilan hydrique « P-ETP0509 » sur l'ensemble de la région Corse de manière informatique par l'intermédiaire de logiciels SIG.

Pour un sol avec une réserve utile moyenne (70 mm environ)	Probabilité d'être stressé (seuil de 10 % de stressé ou irréversible)
	Trop froid pour l'essence
	Faible <40 %
	Modérée à ELEVÉE : 40 à 60 %
	Elevée à Très élevée : 60 à 80 %

- Placettes exploitées
- Placettes non exploitées

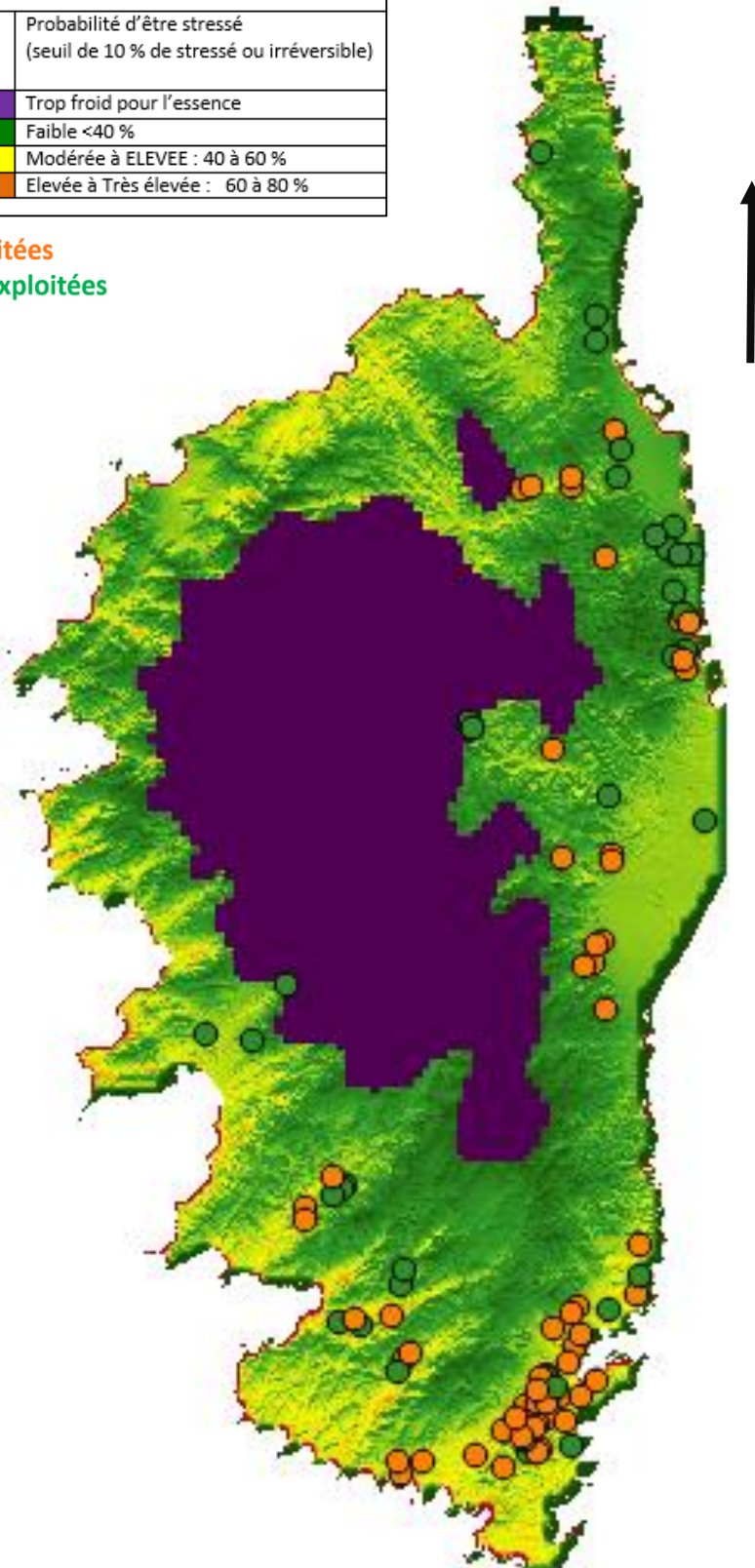


Figure 41 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse (données AURITALIS 1980-2010)



Pour un sol avec une réserve utile moyenne (70 mm environ)	Probabilité d'être stressé (seuil de 10 % de stressé ou irréversible)
	Trop froid pour l'essence
	Faible <40 %
	Modérée à ELEVÉE : 40 à 60 %
	Elevée à Très élevée : 60 à 80 %

- Placettes exploitées
- Placettes non exploitées

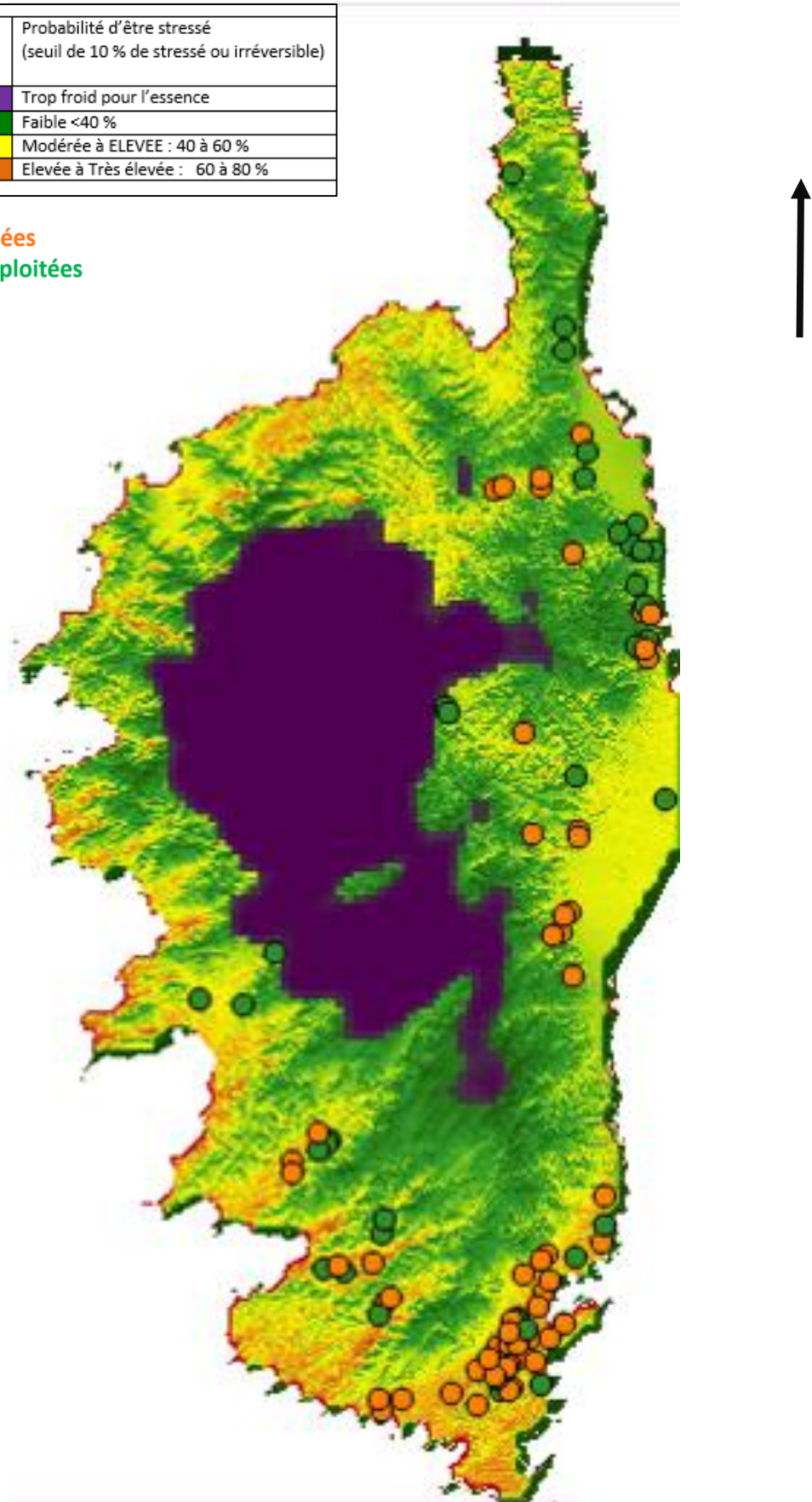







Figure 42 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse dans le cas d'une augmentation de température de + 1°C (données AURITALIS 1980-2010)

Pour un sol avec une réserve utile moyenne (70 mm environ)	Probabilité d'être stressé (seuil de 10 % de stressé ou irréversible)
	Trop froid pour l'essence
	Faible <40 %
	Modérée à ELEVÉE : 40 à 60 %
	Elevée à Très élevée : 60 à 80 %
	80 à 100%

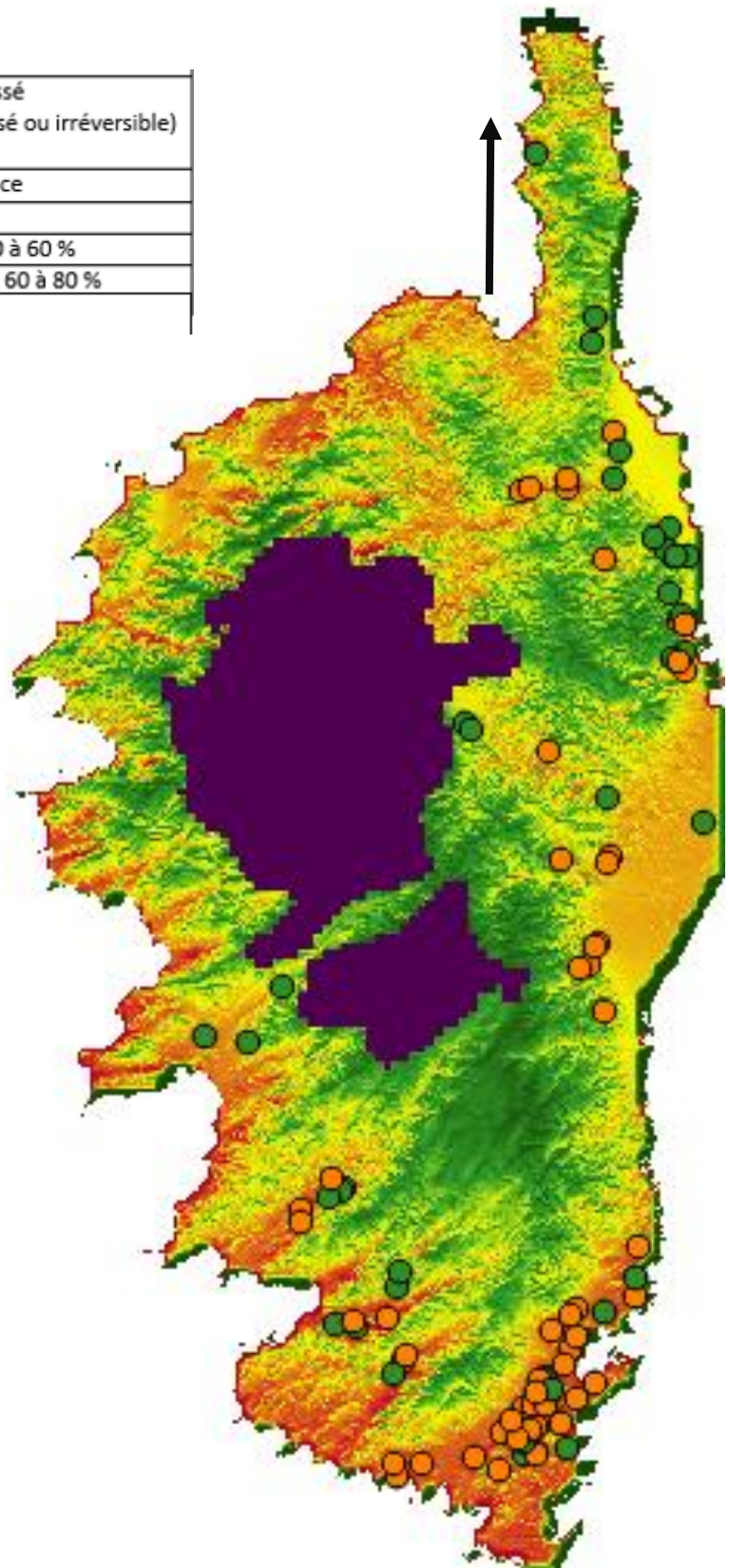







Figure 43 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse dans le cas d'une augmentation de température de +2°C (données AURITALIS 1980-2010)

Pour un sol avec une réserve utile moyenne (70 mm environ)	Probabilité d'être stressé (seuil de 10 % de stressé ou irréversible)
	Trop froid pour l'essence
	Faible <40 %
	Modérée à ELEVÉE : 40 à 60 %
	Elevée à Très élevée : 60 à 80 %
	80 à 100%

- Placettes exploitées
- Placettes non exploitées

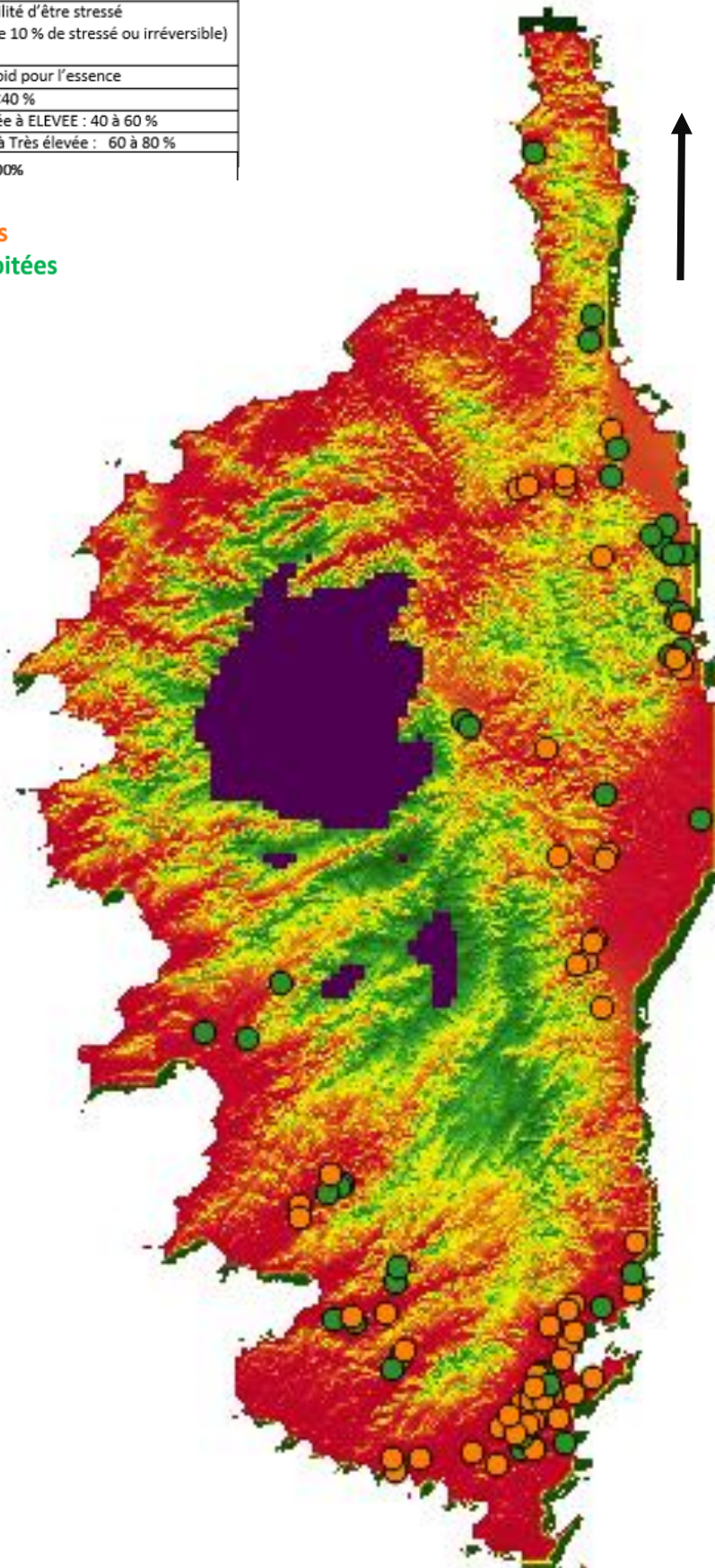


Figure 44 - Carte de vigilance : probabilité de dépérissement dans la subéraie corse dans le cas d'une augmentation de température de +4°C (données AURITALIS 1980-2010)

Ces cartes de vigilance permettent de divulguer des conseils de gestion en fonction de l'état estimatif des subéraies en Corse. Dans les zones les plus défavorables du bilan hydrique propre au chêne liège, il faudra particulièrement veiller à avoir une réserve utile minimale de 70 mm, et des subéraies avec peu voire pas de sous-étage dans le but de ne pas ajouter des facteurs aggravants et conduisant au dépérissement des chênes lièges.

Les cartes de vigilance n'intègrent pas la topographie et la pente. Ces deux facteurs de compensation du climat seront pris directement sur le terrain. Pour renforcer l'expertise de terrain, la RU minimale devra également être évaluée. En effet les cartes de vigilance intègrent par défaut une RU minimale moyenne (70 mm) calculée à partir des RU minimales relevées sur les 99 placettes. Une tendance des risques est ainsi visualisable sur ces cartes. Il nous a paru nécessaire de connaître, plus précisément, la dynamique de passage d'un seuil de risque à un autre en fonction de la variation de la RU minimale (figure 45). En effet à l'échelle d'une parcelle la carte de vigilance peut indiquer un seuil de risque élevé qui, suite à une estimation terrain de la RU minimale, s'avère être compensé et ainsi modifié en seuil de risque modéré. Les variables des trois facteurs de compensation du climat, cités ci-dessus, sont intégrés dans une clé de détermination pour définir l'Indice de Compensation Climatique (ICC, figure 47). Cet indice corrélé aux cartes de vigilance (figure 46) permettra de qualifier (favorable, moins favorable ou défavorable) la station vis-à-vis du chêne liège.

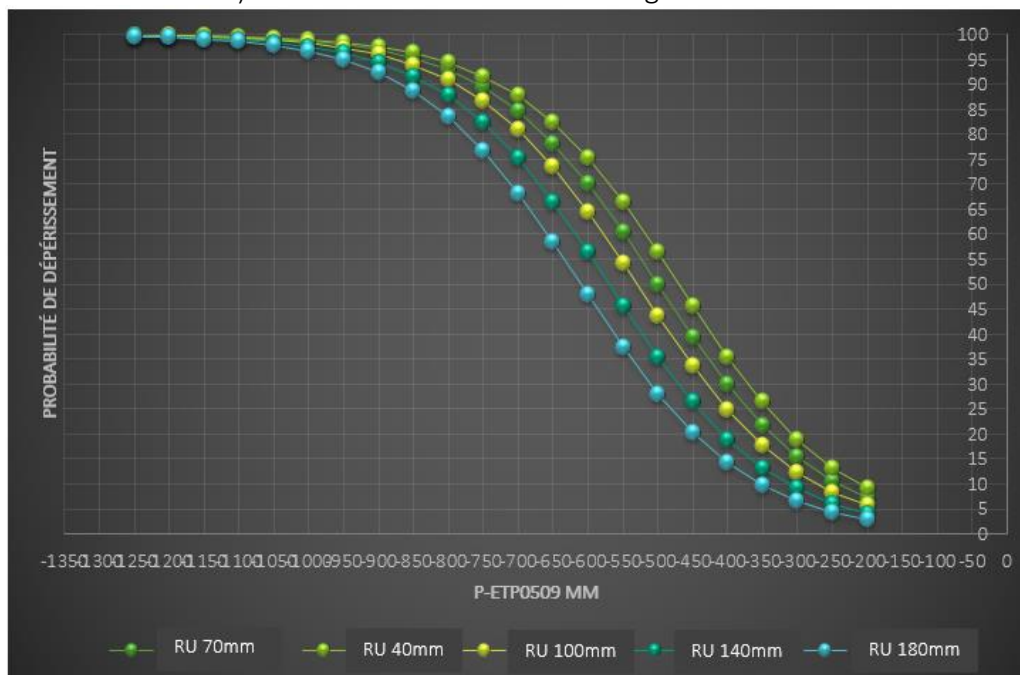


Figure 45 - Probabilité de dépérissement de la subéraie en fonction de la Réserve Utile minimale et du bilan hydrique (P-ETP) durant la période mai à septembre

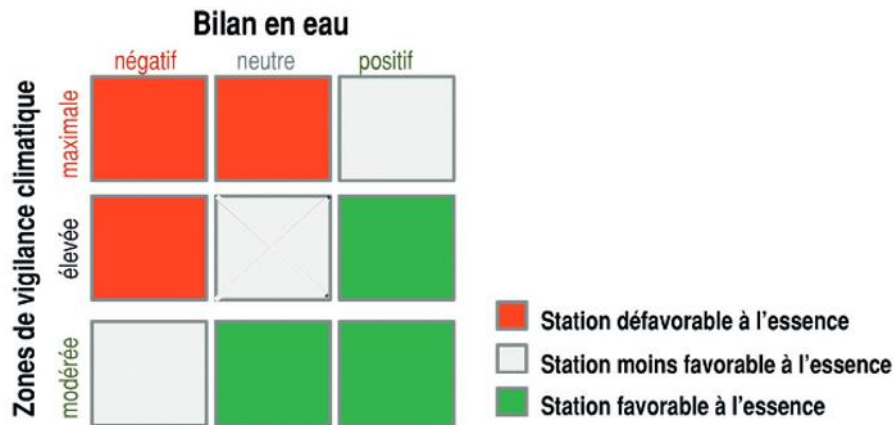


Figure 46 - Bilan pédoclimatique

*Départ de la clef de l'indice de compensation du climat*

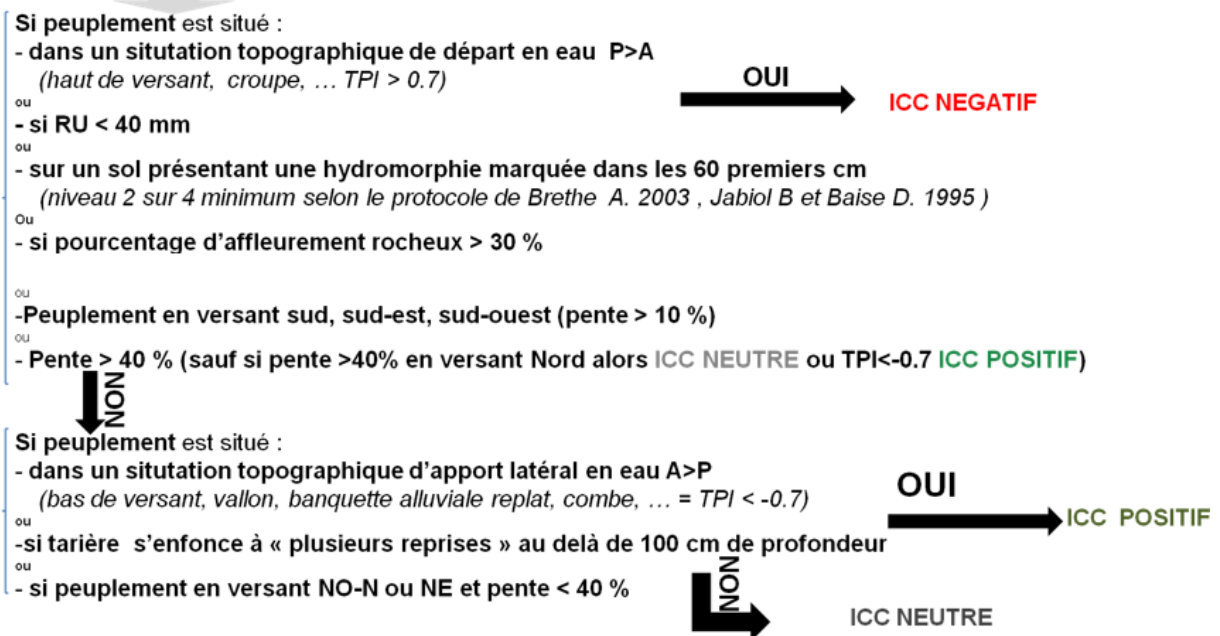


Figure 47 - Clé de détermination des indices compensatoires du climat

Cette clé de détermination permet de discriminer un peuplement dépérissant d'un non dépérissant 7 fois sur 10.

Des tests ont été effectués afin de connaître les années à fort risque de perte de vitalité et permettent de conclure qu'en dessous du seuil de  $P-ETP0509 = -560$  mm (valeur sur l'année) les dépérissements sont accrus.

En contexte de changement climatique (jusqu'à  $+2^\circ\text{C}$ ) la zone la plus favorable et la plus intéressante pour l'essence est la Haute-Corse où actuellement le liège est le moins, voire quasiment non exploité dans certaines zones. Dans la mesure où le cœur de l'exploitation du

liège se situe dans la région de Porto-Vecchio, zone où la probabilité que 10% des chênes lièges soient stressés ou dépérissants irréversiblement, il semble intéressant de voir qu'il existe des régions de Corse où le chêne liège a un avenir moins périlleux.

Grâce à ces cartes de vigilance nous sommes donc en possession de véritables outils d'aide à la décision.

## 7. Propositions de recommandations sylvicoles

Suite à l'analyse des données un important travail a permis d'aboutir à la rédaction de fiches de recommandations sylvicoles hiérarchisées par ordre d'importance et répondant aux problématiques de dépérissement de la subéraie corse.

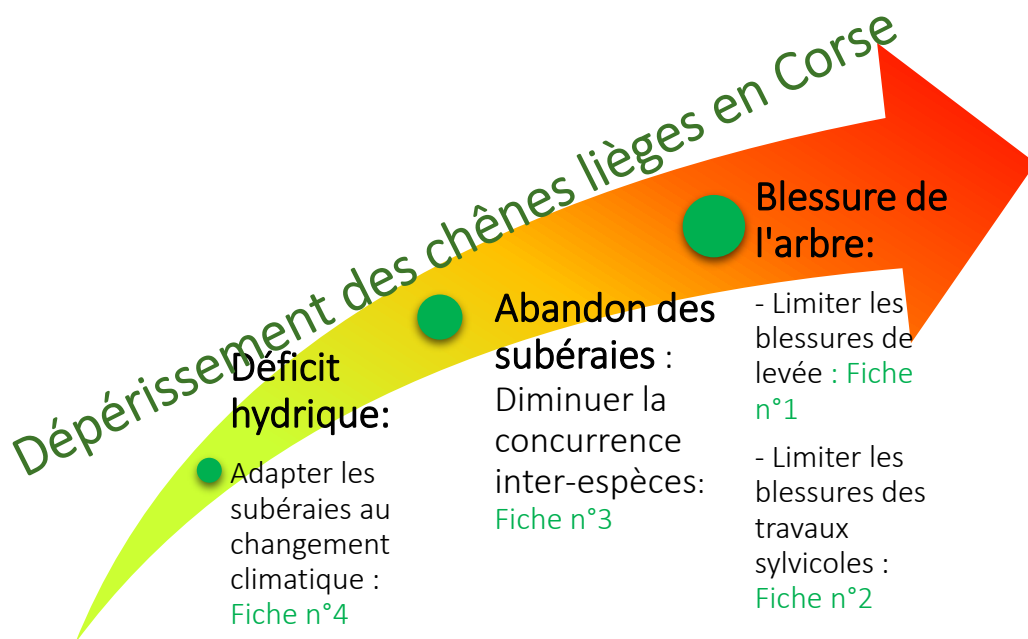


Figure 48 - Solutions pour limiter l'impact sur le dépérissement du chêne liège en Corse

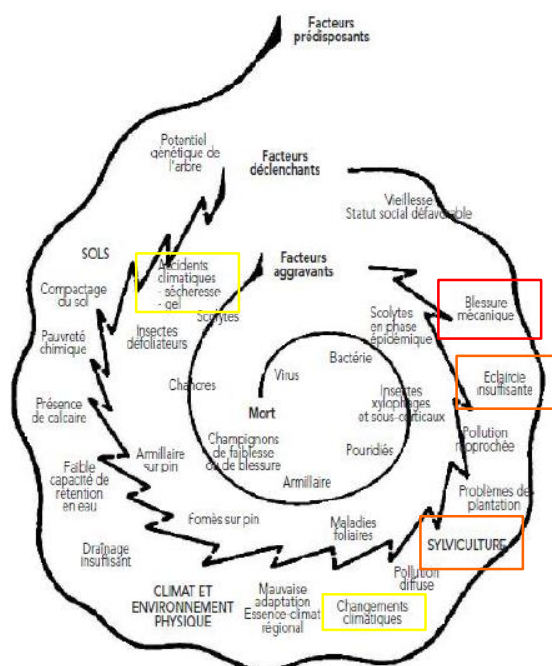
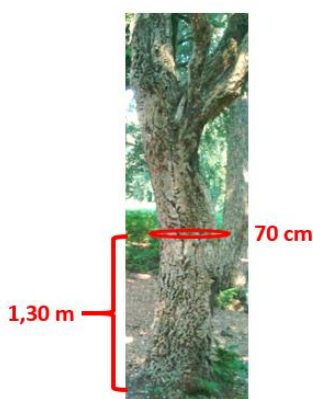


Figure 49 - Hiérarchisation des principaux facteurs impliqués dans le processus de dépérissement d'après Manion (1981) adaptée aux conditions françaises (Landmann, 1994) et présentant la situation de nos facteurs de dépérissements (encadrés)

## Fiche n°1 : Eviter les blessures pour limiter les dépérissements lors de la récolte du liège

*Quand effectuer la récolte du liège ?*

### Liège mâle démasclage



Lorsque le liège mâle a atteint une circonférence de 70 cm sur écorce à 1,30 m du sol.

Cette circonférence est approchée vers 25-30 ans.

### Liège femelle (levée)



Levée du liège si → le liège a atteint 3 à 4 cm d'épaisseur



Rotation des levées tous les 10 ans environ.

En période de levée, le leveur effectue régulièrement un test de décollement afin de voir si l'écorçage est possible.



## Liège (toutes qualités confondues)

### Récolter le liège en dehors des extrêmes climatiques et sanitaires

#### Vents forts, chauds et secs

Les vents violents, surtout s'ils sont chauds et secs, peuvent dessécher plus ou moins complètement la mère juste après la levée, causant alors sa mort sur une portion plus ou moins grande de la circonférence.

#### Sécheresse importante (Forte chaleur caniculaire)

L'arbre arrête alors sa circulation de sève et le liège reste collé au tronc. En essayant de lever dans de telles conditions, on risque de décoller ou d'arracher la mère.

#### Pluie

Lessivage des tanins de la mère puis infection par champignons pathogènes.

#### Attaque de parasites

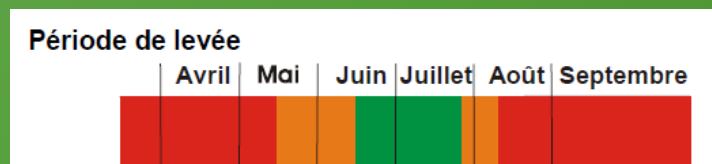
Bombyx, platype ...

Il est déconseillé d'écorcer des arbres ayant une épaisseur de liège inférieure à 1,8 cm



Préférer une récolte en début de journée (6h-14h)

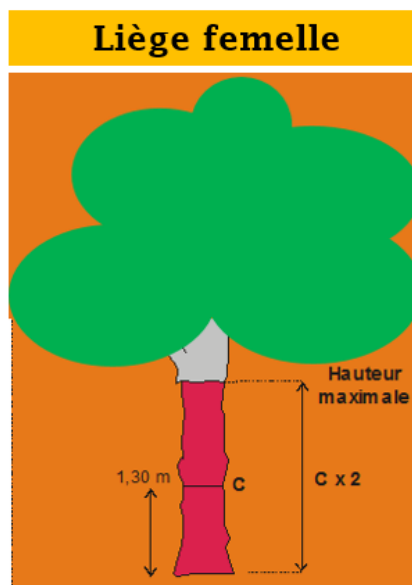
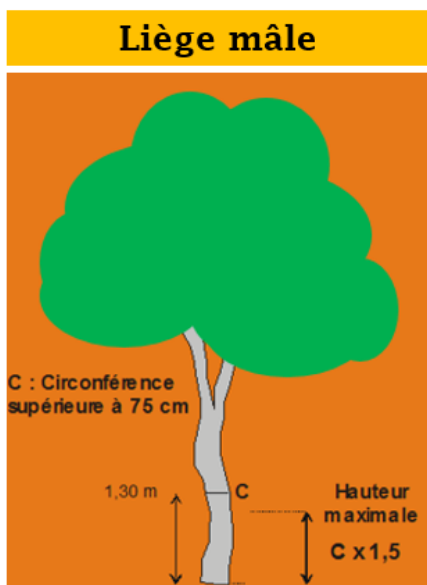
Il est fortement recommandé de lever le liège durant la période suivante :



Les rotations de levée ne doivent pas excéder 15 ans. Les longues rotations favorisent l'apparition de tâches jaunes et autres altérations du liège.



## Comment effectuer la levée du liège ?



Il est déconseillé d'écorcer des branches charpentières inférieure à 70 cm de circonférence.

**Pour limiter les blessures de la mère, préférer l'utilisation d'une découpeuse avec sonde de détection de conductivité électrique à une hache de levée.**

Eviter pour les outils de levée le contact avec la terre.

Désinfecter les outils entre chaque parcelle avec des produits autorisés par le Code International des Pratiques Bouchonnières (CIPB).



## Recommandations générales

Récolter le liège sur des arbres sains

Dans un contexte de risque incendie fort (bord de route, sous-étage présent, ...) appliquer sur de grandes parcelles la règle du tiers (récolter 1/3 des arbres tous les 3 à 4 ans. Suite au passage d'un feu, il est conseillé d'attendre 5 ans avant de démascler /lever le liège brûlé.

**On doit réaliser une finition correcte de la couronne et du pied des arbres afin d'éviter l'entrée d'insectes, de maladies entre le liège et la mère, de faciliter la prochaine levée en optimisant la forme des prochaines planches.**

## Fiche n°2 : Eviter les blessures pour limiter les dépérissements lors les travaux sylvicoles

### Elimination du sous-étage

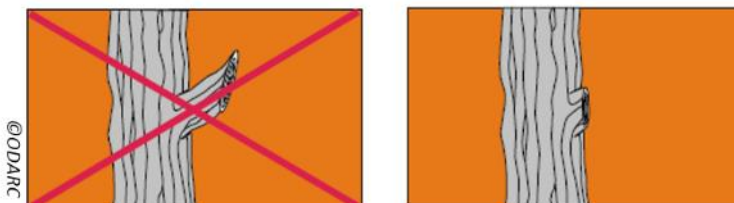
Aux abords des arbres favoriser un démaquisage/débroussaillage manuel de préférence en hiver afin de respecter la **tortue d'Hermann** qui est en hibernation à cette période. Afin de limiter l'impact des travaux, la hauteur de coupe devra se situer à 30 cm du sol.



### Eclaircie

Eclaircie sans blesser les autres arbres, pour obtenir un taux de recouvrement de 60 %

### Taille de formation



La coupe doit être réalisée bien à ras du tronc avec un sécateur ou une scie à ébrancher (jamais à la tronçonneuse ni à la serpe).  
Ne pas laisser de chicots pour une meilleure cicatrisation.

Taille de formation doit se faire avant le démasclage et sur des branches dont le diamètre est supérieur à 5 cm et dans des conditions favorables à la cicatrisation.

### Desserte et accès au peuplement

Lors de travaux faisant usages d'engins mécanisés (layons, cloisonnement, girobroyages, desserte) faire attention de ne pas blesser les arbres. Optimiser la desserte pour limiter l'impact au sol et sur la faune en matérialisant les accès retenus

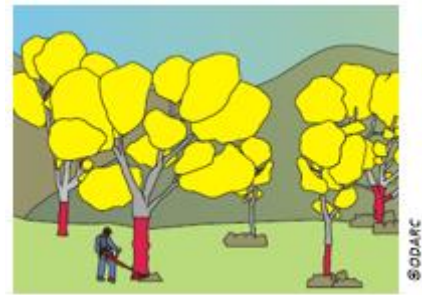
Sur les pare-feu arborés adapter les travaux de création et d'entretien pour préserver l'intégrité de la subéraie.

## Fiche n°3 : Limiter les dépérissements en diminuant la concurrence inter-espèces

### Elimination de la concurrence dans l'étage dominant

Le chêne liège est une essence purement héliophile et il est communément admis que le recouvrement optimal de la strate arborée du peuplement forestier doit être de l'ordre de 60 %. Pour ces raisons, il est nécessaire d'éliminer toutes les essences forestières concurrentes en eau et en lumière dans l'étage dominant. Cela consiste à limiter la dynamique naturelle du maquis favorisant à long terme la dominance du chêne vert. Cette maîtrise doit être permanente dans la vie de la subéraie.

Aux abords des arbres favoriser un démaquisage manuel



En contexte de pente, éliminer le sous-étage uniquement autour des chênes lièges

Remarque : pour préserver la tortue d'Hermann préférer les girobroyages en hiver



# Fiche n°4 : Adapter les subéraies au changement climatique

## Pistes de réflexion à approfondir - Déficit hydrique

Diminuer la consommation d'eau en réduisant les densités

Etudier le rôle du sous-étage dans les pertes en eau et l'évapotranspiration



## Généralités changement climatique

**Propriétaires forestiers : Faites votre diagnostic « BioClimSol »**

**Notre technicien forestier vous indiquera dans quelle zone de vigilance climatique se situe votre peuplement, et les conseils de gestion sylvicole adaptés**



Olivier Martineau - CRPF PACA © CNPF

### Diminuer les risques

#### Sanitaire

- Mélange des essences
- Etude sur les cortèges d'insectes, parasites et champignons qui ont tendance à augmenter en contexte de changement climatique

#### Incendie

Echanges techniques sur la création/entretien des pare-feu arborés



©ODARC



©Futura-sciences.com

Nous recommandons vivement également de respecter les règles des bonnes pratiques subéricoles disponibles dans les documents techniques suivants :

- Code de Bonnes Pratiques Sylvicoles (CBPS) - CRPF de Corse
- Guide technique du chêne liège - ODARC
- Cahier des charges de l'exploitation du chêne liège – PEFC
- Code International des pratiques subéricoles
- Règlement type de gestion des gestionnaires forestiers (RTG)
- Plans simples de gestion (PSG).

La prise en compte du déficit hydrique, expliquant en partie les dépérissements observés, doit se faire à différents niveaux. Actuellement et d'une manière générale, en interrogeant le monde du liège sur le lien direct entre dépérissements et changement climatique, il n'existerait pas, ou très peu, d'études à ce sujet. Toutefois des observations nous interrogent.

**En Espagne**, la « Seca » qui est un affaiblissement ou dépérissement de l'arbre lié à une période de sécheresse, semble s'intensifier et révèle la faiblesse des arbres en condition stationnelle défavorable.

**En France** et particulièrement en Languedoc-Roussillon des observations de terrain, suite à la sécheresse de 2014, ont mis en évidence sur les pare-feu, une nette différence dans le feuillage des chênes lièges entre les peuplements nettoyés pour la coupure de combustible et ceux limitrophes non nettoyés. Ces derniers pouvant présenter une défoliation allant jusqu'à 80%.

La réflexion sur des sylvicultures du chêne liège adaptatives au changement climatique mérite d'être prolongée. Aujourd'hui très peu de données existent à ce sujet, ainsi nous proposons, ci-dessous, des pistes de réflexion à approfondir pour donner suite à notre étude :

## A. Favoriser la variabilité génétique des chênes lièges

Dans la spirale de Manion adaptée au contexte français (Landmann, 1994), le potentiel génétique de l'arbre est le premier facteur prédisposant au dépérissement.

### a) La régénération naturelle par glandée

Afin de favoriser la variabilité génétique au sein des subéraies corses il faudra privilégier, dans les itinéraires de renouvellement des subéraies, la régénération naturelle par glandées. Cela permettra l'émergence d'individus adaptées aux conditions changeantes du climat et notamment la variation du déficit hydrique. La régénération par recépage ou crochetage sera à éviter car générant des clones.

- Mise en place de placettes comparatives de régénération naturelle (par glandée, par recépage, par crochetage) en fonction du gradient P-ETP.
- Etudier le « masting » du chêne liège en fonction du gradient P-ETP.
- Favoriser la reproduction sexuée et limiter la régénération végétative (drageons et rejets de souche).

### b) La régénération artificielle

Le programme FAIR202 a mis en place, il y a 15 ans, un réseau de placettes au niveau international (Portugal, France, Algérie,...). 34 provenances ont été plantées dans différents sites de la zone méditerranéenne. Malgré le manque de recul, un résultat semble encourageant : Certaines provenances (TUnisie37 et MAroc27) de régions humides ont montré une meilleure capacité d'adaptation (évaluer par la croissance en hauteur) dans les régions les plus sèches. Bien que paradoxal ce résultat pourrait peut-être traduire, pour ces provenances, une rapide capacité d'adaptation au changement climatique.

- Suivre les résultats du programme FAIR202

→ Mettre en place des placettes comparatives pour tester différentes provenances<sup>1</sup>

→ Travailler avec la pépinière territoriale pour la récolte de glands sur peuplements « sains »

→ Recherche sur la génétique et l'autoécologie du chêne liège pour trouver les géotypes les plus résistants en cas de changement climatique.

## B. Expérimenter des sylvicultures adaptatives au changement climatique

### a) Le sous-étage de la subéraie.

Les avis sont partagés sur la question du maintien ou de l'élimination du sous-étage de la subéraie. Au Portugal le sous-étage est souvent entièrement éliminé pour laisser place à une pelouse. En Corse le maintien du sous-étage fait partie d'un itinéraire sylvicole permettant au propriétaire forestier une alimentation en bois de chauffage toutes les 4 à 5 rotations de levée du liège. Ce sous-étage ne semblerait pas impacter le chêne liège à condition qu'il reste dominé par la subéraie en place. Renaud Piazzetta, de l'Institut Méditerranéen du Liège (conversation téléphonique, 2015), relève la nécessité de maîtriser le sous-étage. En effet un sous étage trop dense amènerait une humidité trop forte au sein du peuplement qui pourrait être responsable de l'apparition de mousses sur le liège, de lierres (compression du liège + insertion des crampons du lierre -> liège terreux), voire de fougères La mousse sur le liège entraîne de la part des industriels une mise directe au rebus. Le sous-étage est une variable influençant l'évapotranspiration et donc modulant le déficit hydrique.

→ Etudier l'équilibre densité du sous-étage/humidité du peuplement en fonction de la topographie, de l'exposition,...

### b) La densité des subéraies et le mélange des essences.

---

<sup>1</sup> Suite à la récente découverte en Corse de la bactérie *Xylella fastidiosa*, les échanges du matériel végétal devront respecter les arrêtés préfectoraux en vigueur.



En réponse aux changements globaux de nombreuses placettes sont mises en place en France par les organismes de recherche (exemple de l'IRSTEA en forêt d'Orléans). Certaines variables sont étudiées et notamment la diminution de la densité des arbres et le mélange des essences. Il ne faut pas oublier que le changement climatique est, et sera, à l'origine de perturbations des cortèges faunistiques entraînant l'apparition de parasitoïdes nouveaux. Le mélange des essences permettra l'installation naturelle, au sein des peuplements, d'une banque faunistique pouvant répondre favorablement à la résilience des peuplements en cas d'attaque sanitaire.

→ **Etudier la relation entre densité de la subéraie et évaporation du sol.**

→ **Mettre en place des placettes comparatives pour étudier l'impact du mélange d'essences**

## 8. Conclusions

---

Notre étude se positionne dans le contexte actuel de la prise de conscience internationale sur l'urgence à maîtriser l'évolution des changements globaux. La forêt a pleinement sa place dans cette maîtrise pour laquelle elle assumera, entre autres, son rôle de puit de carbone d'autant plus efficace que son développement et son maintien seront assurés. Nous avons recherché, au travers de nos travaux, un lien possible entre les dépérissements du chêne liège, observés en Corse, et les changements globaux. Des variables climatiques ont été choisies et mises en relations avec l'état sanitaire des chênes lièges, dans le cadre du protocole BIOCLIMSOL, à l'échelle du territoire insulaire.

L'analyse des résultats n'a cependant pas permis de déceler un lien direct entre les dépérissements et les variables climatiques, cependant trois facteurs sont néanmoins apparus dans l'explication des dépérissements observés :

- **Facteur n°1** : Les blessures liées aux levées de liège et à la gestion des peuplements ;
- **Facteur n°2** : La concurrence des essences forestières avec le chêne liège ;
- **Facteur n°3** : Le déficit hydrique P-ETP.

L'identification de trois facteurs nous conforte dans l'utilisation du terme « dépérissement » employé pour la subéraie corse. Le rappel, auprès des propriétaires forestiers, des bonnes pratiques de gestion (facteurs n°1 et n°2) de la subéraie corse est essentiel. Les mauvaises levées et l'abandon des subéraies sont des facteurs pré-disposants au dépérissement rendant d'autant plus impactant les accidents climatiques, annoncés plus intenses par les modèles climatiques pour l'avenir. Le déficit hydrique (facteur n°3) est une variable climatique qui aura également tendance à s'accroître dans les années à venir. Il nous pose ainsi devant les carences, à l'heure actuelle observées, en termes de connaissances sur sa prise en compte, dans les schémas sylvicoles. Les cartes de vigilance, établies dans ce rapport, doivent être interprétées avec toutes les précautions requises. Néanmoins, elles nous renseignent, en fonction des scénarii climatiques, sur l'évolution des risques de dépérissements de la subéraie corse. La planification territoriale de nos actions d'animation et de sensibilisation et l'orientation dans la gestion de certains choix sylvicoles devront tenir compte de ces évolutions.

Le chêne liège reste néanmoins une essence qui a toujours de l'avenir en Corse. Au travers de cette étude nous nous devons, pour en donner suite, de répondre à certaines interrogations, par la mise en place de suivis, d'expérimentations et d'échanges, sur et au-delà de l'île.



## Bibliographie

---

ASSOCIATION DU LIEGE GASCON, (2006). *Charte de bonnes pratiques de la récolte du liège en Aquitaine*. France, 6 p.

BEN JAMAA M-L. & NASR Z., (juin 2010). *Analyse du climat de la subéraie tunisienne et son impact sur les insectes défoliateurs du chêne-liège*. Tunisie, 22 p.

BERGER C., (2013). *Mémoire de fin d'études : détermination de la sensibilité au changement climatique du chêne pubescent en région PACA*. Marseille, 48 p.

BERRAHMOUNI N. & BESACIER C., (juin 2010). *FAO Silva Mediterranea : Adaptation des subéraies au Changement Climatique : Nécessité de renforcer la coopération régionale ?*. France, 19 p.

BONIN G. & ORGEAS J., (1995). *Variabilité des nutriments foliaires de Quercus suber L dans différentes situations écologiques dans le massif des Maures (Var, France) et relations avec la production de liège*. France, 11 p.

BOUHRAOUA R. & al., (juin 2010). *Impact des variations climatiques « Le changement climatique et son impact sur les subéraies »*. Algérie, 41 p.

BOUTE B., (juin 2010). *Changement climatique et santé des forêts*. France, 39 p.

CENTRE REGIONAL DE LA PROPRIETE FORESTIERE DE CORSE. *Code de Bonnes Pratiques Sylvicoles*.

CENTRE REGIONAL DE LA PROPRIETE FORESTIERE PACA. *Code Régional de Bonnes Pratiques Sylvicoles*. France, 2 p.

DAISE J., (décembre 2009). *Etude de l'adéquation des essences aux stations forestières de la forêt de Soignes (zone Bruxelloise) dans le contexte du changement climatique*. France, 396 p.

DREYER E., (1994). *Courrier de l'environnement de l'INRA n° 23 : Le dépérissement des chênes : analysé écologique et physiologique*. Nancy, p.79-80.

EVORA & MERIDA, (juin 2005). *Code International des pratiques subéricoles*. France, 12 p.

FCBA, (février 2014). *Atelier international - adaptation des forêts au changement climatique : état des lieux et retours d'expérience par pays*. Paris, 38 p.

FORÊT ENTREPRISE, (septembre 2014). *Numéro spécial BioClimSol – Supplément du Forêt entreprise 218 : un outil d'aide à la décision face au changement climatique*. France, 15 p.

FORÊT ENTREPRISE, (janvier 2015). *Forêt entreprise n°220 : BioClimSol*. France, p. 46-52.

- GADER G., (juin 2010). *Analyse de la vulnérabilité des écosystèmes face au changement climatique en Tunisie*. Tunisie, 23 p.
- GARCIA COLLADO A., (2014). *Mémoire de stage : détermination des limites pédoclimatiques du châtaignier dans le Haut-Languedoc-construction d'un outil d'aide à la décision pour l'adaptation de la sylviculture*. Nancy, 56 p.
- HAMINI & al., (2014). *Journal of Applied Biosciences : Elaboration d'un guide de santé des forêts relatif à la décision du déliégeage au niveau de la subéraie de la Mamora*. Maroc, 10 p.
- HOEDE & al., (2002). *Stage de terrain de Paimpont - Bilan de santé du massif forestier de Paimpont : diagnostic à partir de l'état sanitaire des houppiers, de l'indice de compétition, des réserves en amidon racinaire et de la présence de pathogènes*. France, 18 p.
- HOFF C. & RAMBAL S. (2007). *Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques*. France, 15 p.
- IFN. (juin 2006). *Résultats des travaux spéciaux sur la ressource en liège réalisés à l'occasion du 3<sup>ème</sup> cycle d'inventaire forestier de la Corse*. France, 22 p.
- INSTITUT MEDITERRANEEN DU LIEGE. *Guide de subériculture des Pyrénées-Orientales*. France, 38 p.
- INSTITUT MEDITERRANEEN DU LIEGE, (2005). *La levée du liège : guide technique et de vulgarisation*. France, 24 p.
- LACOUTURE Y., (mars 2013). *La méthode de diagnostic ARCHI*. France, 40 p.
- MONTERO G. & TORRES E., (juin 2010). *Les effets possibles du changement global sur les subéraies du Sud de l'Espagne*. Espagne, 23 p.
- ODARC DIVISION FORESTIERE, (2008). *Guide pour la gestion des forêts de chêne liège en Corse*. France, 52 p.
- PEFC, (juin 2013). *Cahier des charges d'exploitation pour la récolte du liège*. France, 4 p.
- PINTUS A. & RUIU P-A., (juin 2010). *Le changement climatique et la gestion durable des forêts. Le cas de la Sardaigne*. Sardaigne – Italie, 23 p.
- RIGOLOT E., (juin 2010). *L'impact du changement climatique sur les feux de forêt*. France, 29 p.
- RIVIERE, (octobre 2014). *Changement climatique – Préparer la forêt pour construire demain*. France, 12 p.
- ROULA B. . *Techniques de récolte du liège*. Alger, 18 p.
- VARELA M-C., (juin 2009). *Forêt méditerranéenne XXIX n°2 : dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique*. France, p. 209-212.

## Annexes

---






*Annexe 1 :*  
*Fiches terrain*

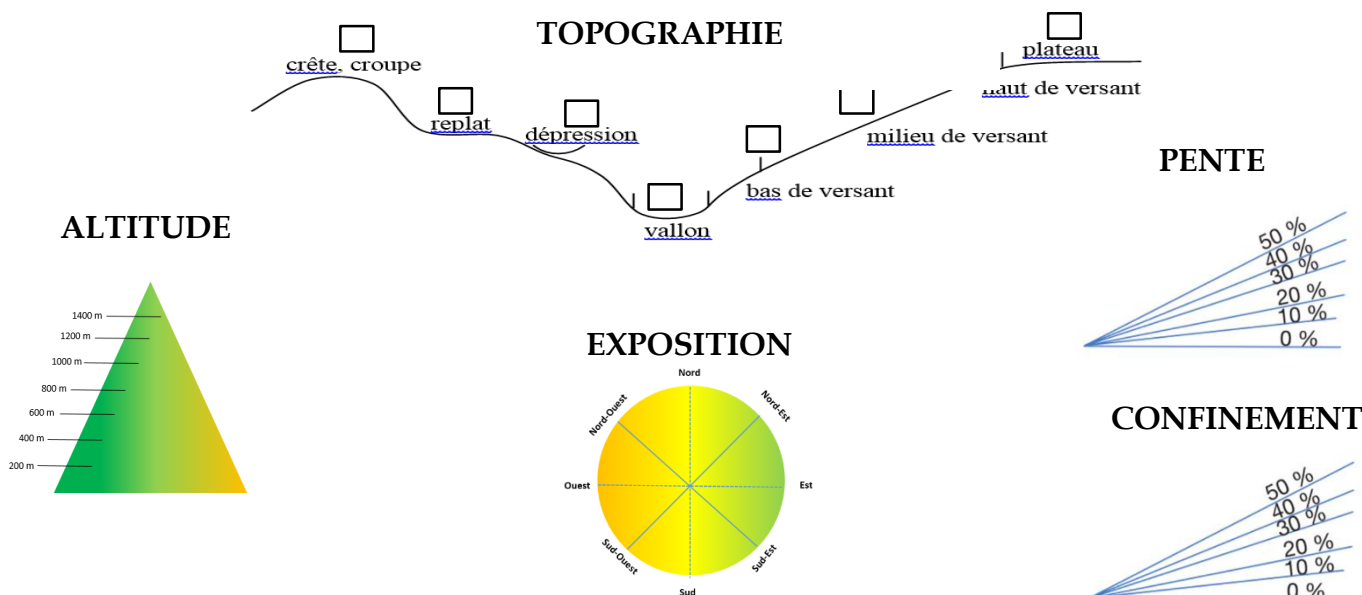


I. Référence de l'opérateur PS MM OC FG

II. Référence de la placette

<b>Classe P-ETP</b>	1	2	3	<b>N° placette</b>		<b>X2</b>
<b>Département</b>	2A	2B	<b>N° placette R</b>			
<b>Zone étude</b>						
<b>Commune</b>						
<b>Cause rejet</b>	N<70	H<6m	Travaux	Bétail	Accès	Levée<5ans

III. Facteurs compensation/aggravation du climat



IV. Diagnostic du sol

<b>Hydromorphie</b>	permanente		temporaire		nulle	
<b>Couverture du sol</b>	%cailloux			%blocs rocheux		
<b>Test HCL</b>	positif			négatif		
<b>Porosité de la roche</b>	granite		schiste		calcaire	
<b>pH</b>	3	4	5	6	7	8
<b>% éléments grossiers</b>	dans le profil de la fosse					
<b>Profondeur totale</b> (=profondeur de prospection)	cm					
<b>RUMinimale</b>	mm d'eau					

## V. Diagnostic du peuplement

Type de peuplement	futaie	maquis	taillis/futaie	taillis	
Essences secondaires	chêne vert	arbousier	chêne blanc	résineux	
Nsecondaire					
Hsecondaire	0-4m	4-8m	8-12m	12-16m	16-20m

Chêne	DENDROMETRIE							LIEGE						SANITAIRE																							
	HAUTEUR				Ø	COUVERT	G TOTALE	G LIEGE	N	Sanitaire <sup>2</sup>	Impacts levé <sup>3</sup> %Circonf	Type de liège		Age <sup>4</sup>	Epaisseur	DEPEFEU					ARCHI																
	6-12	12-18	18-24	24-30								M	F			0	1	2	3	4	S a	R 1	R 2	S 1	S 2	I	D	M									
P																																					
1																																					
2																																					
3																																					
4																																					
5																																					
6																																					
7																																					
8																																					
9																																					
10																																					
11																																					
12																																					
13																																					
14																																					
15																																					
16																																					
17																																					
18																																					
19																																					
20																																					

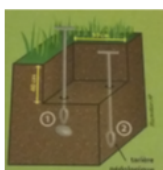
<sup>2</sup> C Carpophore H Hypoxylon mediterraneum P Platype D Défoliateur

<sup>3</sup> Blessure Mère (le % de la circonférence est à estimer après une projection des blessures)

<sup>4</sup> Pour AGE et EPAISSEUR faire les relevés après les notes DEPEFEU/ARCHI et voir « fiche aide »

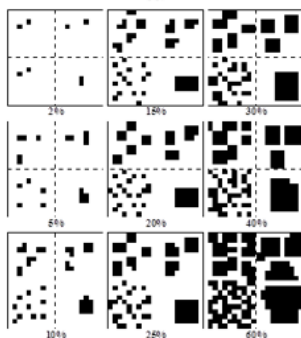
### RUM

LIMON	1.5	SOYEUX/COLLE
ARGILE	1.8	MODELABLE/PLAQUE
SABLE	0.7	CRISSE
LA	2	NE COLLE PAS/PLAQUE
LAS	1.7	
AS	1.70	
SL	1	
SA	1.35	



### COUVERT

Estimation du % de taches ou d'éléments grossiers dans le sol



1/10; 2/10; 3/10	COUVERT EPARS
4/10; 5/10; 6/10; 7/10	COUVERT DISCONTINU
8/10; 9/10; 10/10	COUVERT CONTINU

### DENSITE: N

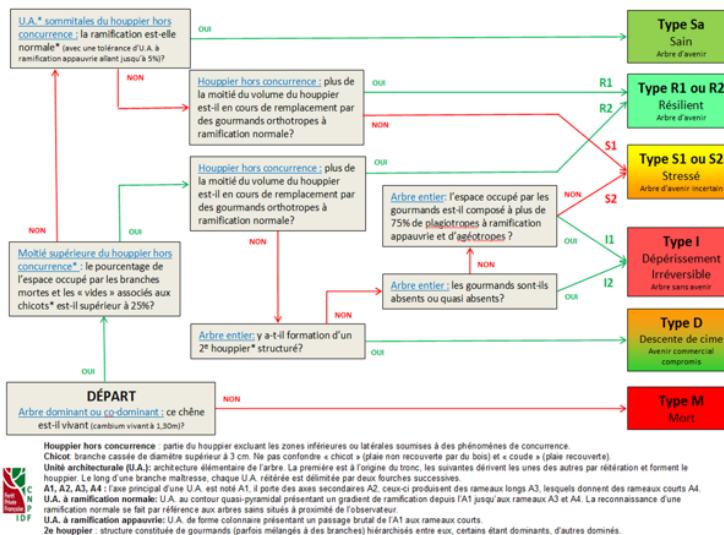
Ecartement moyen (m)	Densité (N/ha)
1	10 000
2	2500
3	1111
4	625
5	400
6	277
7	200
8	150
9	125
10	100

### PRODUCTION

Notes observées	Relevé à prendre	Total de relevés
0 1 2 3	2 pour (0,1,2) et 1 pour 3	3
3 notes ≠	2 pour la note la + saine et 1 pour les autres	4
2 notes ≠	2 pour la note la + saine et 1 pour l'autre	3
NOTES IDENTIQUES	3 relevés	3

CRITERES	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
	Rameaux morts	Non	Oui	Oui	Oui
Branches mortes	Non	Non	< 50 %	> 50 %	O
Transparence	Non	Légère	Moyenne	Forte	U
Echancrures	Non	Non	Oui	Oui	P
Fenêtres	Non	Oui	Oui	Oui	P
Perte de ramification	Non	Légère	Moyenne	> 50 %	I
<b>HOUPIER ACTIF</b>					
Echancrure = trou ouvert dans le houppier					
Fenêtre = échancrure fermée					
Transparence = visibilité à l'intérieur des branches					
Visibilité squelette = visibilité du tronc					
Visibilité du squelette de l'arbre	Non	Non	Panellée	Totale	MORT

### Clé de détermination des types ARCHI chez les chênes (*Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*)



Plagiotrope = horizontal  
Orthotrope = vertical



*Annexe 2 : Liste  
des variables  
analysées*





<b>Variables</b>	<b>Explications</b>	<b>Source</b>
Pente (%)	Pente de chaque placette	Données terrain
Confinement (%)	Confinement de chaque placette	Données terrain
Topographie	Situation topographique de chaque placette	Données terrain
Bilan en eau	Bilan en eau de chaque placette	Données terrain
Exposition	Exposition de la placette (Nord/Sud/Est/Ouest)	Données terrain
Type de peuplement	Type de peuplement de chaque placette (futaie/Taillis/Maquis)	Données terrain
Hauteur moyenne du peuplement(m)	Hauteur moyenne de l'étage dominant de chaque placette	Données terrain
Couvert (%)	Couvert forestier de chaque placette	Données terrain
Surface terrière totale	Surface terrière totale de chaque placette	Données terrain
Surface terrière chêne liège	Surface terrière des chênes lièges de chaque placette	Données terrain
Surface terrière sous-étage	Surface terrière des chênes lièges de chaque placette	Données terrain
Densité	Surface terrière du sous-étage de chaque placette	Données terrain
Densité des essences secondaires	Densité des essences secondaires de chaque placette	Données terrain
Densité totale	Densité totale de chaque placette	Données terrain
Pourcentage tiges saines	Pourcentage de tiges en classes 0 et 1 DEPEFEU	Données terrain
Pourcentage tiges stressées	Pourcentage de tiges en classe 2 DEPEFEU	Données terrain
Pourcentage tiges en dépérissement irréversible	Pourcentage de tiges en classe 3 DEPEFEU	Données terrain
Pourcentage tiges en descente de cime	Pourcentage de tiges en classe 3 DEPEFEU	Données terrain
Pourcentage tiges résilientes	Pourcentage de tiges en classe 2 DEPEFEU	Données terrain
Pourcentage placettes stressées et en dépérissement irréversible à un seuil de 10%	Pourcentage placettes stressées et en dépérissement irréversible à un seuil de 10%	Données terrain

Pourcentage placettes stressées et en dépérissement irréversible à un seuil de 20%	Pourcentage placettes stressées et en dépérissement irréversible à un seuil de 20%	Données terrain
Pourcentage placettes stressées et en dépérissement irréversible à un seuil de 30%	Pourcentage placettes stressées et en dépérissement irréversible à un seuil de 30%	Données terrain
Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 0	Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 0	Données terrain
Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 1	Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 1	Données terrain
Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 2	Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 2	Données terrain
Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 3	Pourcentage tiges classées en DEPEFEU 3	Données terrain
Pourcentage placettes en DEPEFEU 3 à un seuil de 10%	Pourcentage placettes en DEPEFEU 3 à un seuil de 10%	Données terrain
Pourcentage placettes en DEPEFEU 3 à un seuil de 20%	Pourcentage placettes en DEPEFEU 3 à un seuil de 20%	Données terrain
Pourcentage placettes en DEPEFEU 3 à un seuil de 30%	Pourcentage placettes en DEPEFEU 3 à un seuil de 30%	Données terrain
Pourcentage de couverture du sol en cailloux	Pourcentage de couverture du sol en cailloux de chaque placette	Données terrain
Pourcentage de couverture du sol en blocs rocheux	Pourcentage de couverture du sol en blocs rocheux de chaque placette	Données terrain
pH du sol	pH du sol de chaque placette	Données terrain
Pourcentage d'éléments grossiers dans le profil de la fosse	Pourcentage d'éléments grossiers dans le profil de la fosse de chaque placette	Données terrain
Réserve utile minimale (mm)	Réserve utile calculée après ouverture d'une fosse pédologique dans chaque placette	Données terrain
Etat sanitaire du liège	Etat sanitaire du liège de chaque placette	Données terrain
Pourcentage du tronc affecté par une blessure lors d'une levée de liège	Pourcentage du tronc affecté par une blessure lors d'une levée de liège de chaque placette	Données terrain
Proportion de tiges femelles (arbres levés)	Proportion de tiges femelles (arbres levés) de chaque placette	Données terrain

Age moyen du liège	Age moyen du liège de l'ensemble des tiges des 99 placettes	Données terrain
Epaisseur du liège femelle (cm)	Epaisseur du liège femelle de l'ensemble des tiges des 99 placettes	Données terrain
D130	Diamètre des arbres de chaque placette à 1,30m	Données terrain
MIND130	Diamètre minimum des arbres de chaque placette à 1,30m	Données terrain
MAXD130	Diamètre maximum des arbres de chaque placette à 1,30m	Données terrain
ATM6881_21	Température maximale de juin à août moyenne de 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
P_ETP68_50	Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration de juin à août moyenne de 1981-2010, résolution 50 m	Modèle climatique hybride
APVEG81_21	Précipitations d'avril à octobre inclus moyenne de 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
ETPAN_8150	ETP annuel, moyenne 1981-2010, résolution 50 m	Modèle climatique hybride
ATN0181_21	Température minimale de janvier moyenne de 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
TMANA81_21	Température moyenne annuelle, moyenne 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
ATN0381_21	Température minimale de mars moyenne de 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
AP_ETP4101	Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration d'avril à octobre moyenne de 1981-2010	Modèle climatique hybride
AP5981ok_2	Précipitations de mai à septembre inclus moyenne de 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
NBGELAN811	Nombre de jours de gel par an moyenne de 1981-2010	Modèle climatique AURELHY

P_ETP41050	Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration d'avril à octobre moyenne de 1981-2010, résolution 50 m	Modèle climatique hybride
AP6881_215	Précipitations de juin à août moyenne 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
ETP0608A1K	ETP de juin à août	Modèle climatique AURELHY
APETP591K	Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration de mai à septembre moyenne de 1981-2010	Modèle climatique hybride
P_ETP59_50	Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration de mai à septembre moyenne de 1981-2010, résolution 50m	Modèle climatique hybride
ETPANA811	ETP annuel, moyenne 1981-2010, résolution 1 km	Modèle climatique hybride
APETP681K	Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration de juin à août moyenne de 1981-2010, résolution 1 km	Modèle climatique hybride
APan81	Précipitations annuelles moyenne 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
ATX060881	Température maximale moyenne de juin à août inclus moyenne de 1981-2010	Modèle climatique AURELHY
Alti	Altitude de chaque placette	Données terrain
PETP59S_65	différence entre les précipitations et l'ETP de mai à septembre inclus P AURELHY et ETP turc période 1981-2010, résolution 65 m	Modèle climatique hybride
PETP59S_75	différence entre les précipitations et l'ETP de mai à septembre inclus P AURELHY et ETP turc période 1981-2010, résolution 75 m	Modèle climatique hybride

PETP59S_85	différence entre les précipitations et l'ETP de mai à septembre inclus P AURELHY et ETP turc période 1981-2010, résolution 85 m	Modèle climatique hybride
PETP59S_6090	différence entre les précipitations et l'ETP de mai à septembre inclus P AURELHY et ETP turc période 1981-2010, résolution 90 m	Modèle climatique hybride
PETP59S_95	différence entre les précipitations et l'ETP de mai à septembre inclus P AURELHY et ETP turc période 1981-2010, résolution 95 m	Modèle climatique hybride
PETP59S_05	différence entre les précipitations et l'ETP de mai à septembre inclus P AURELHY et ETP turc période 1981-2010, résolution 65 m	Modèle climatique hybride
PETP9010S	différence entre les précipitations et l'ETP de mai à septembre inclus P AURELHY et ETP turc période 1981-2010, résolution 65 m	Modèle climatique hybride