

Adaptation des forêts normandes aux changements climatiques : des outils au service des sylviculteurs

Changement climatique : enjeux et adaptations pour
l'agriculture et la forêt en Normandie ?

Jean-Baptiste REBOUL – Responsable développement et vulgarisation
22 Novembre 2016



CENTRE RÉGIONAL de la PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE
NORMANDIE



Plan de l'exposé

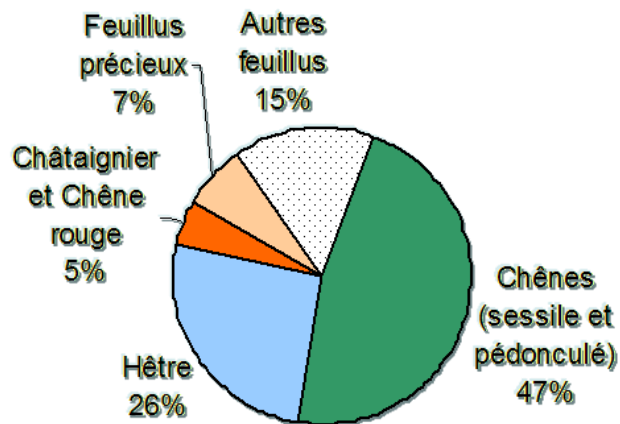
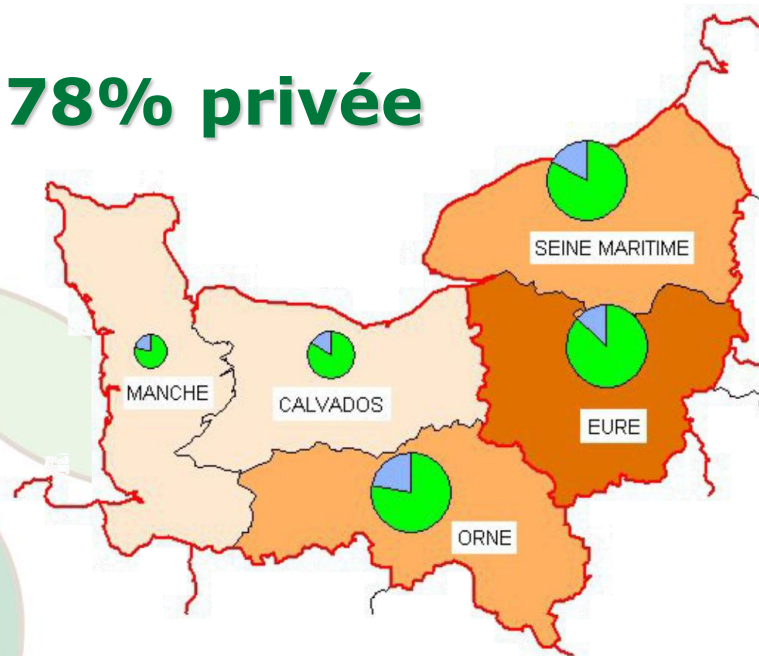
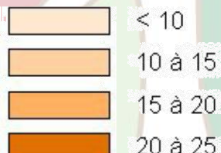
1. **Enjeux forestiers dans un contexte de climat changeant**
2. **Outil pour adapter le choix des essences au contexte pédoclimatique : projet ECOGEODYN**
3. **Outil pour adapter la gestion des peuplements déperissant : ARCHI**
4. **Importance de l'expérimentation : REINFORCE**

La forêt normande en quelques mots

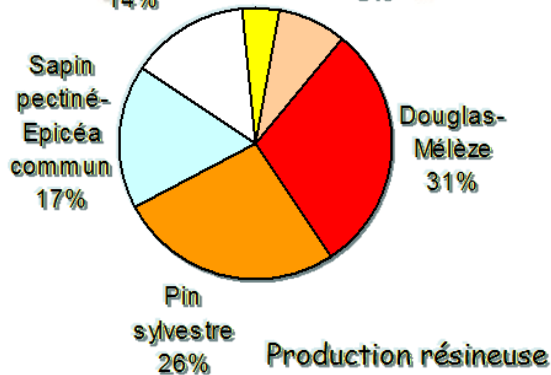
- 2 régions, 5 départements
- 423 000 ha de forêts dont 78% privée
- Taux de boisement : 14%
- 80% feuillus



Taux de boisement (%)

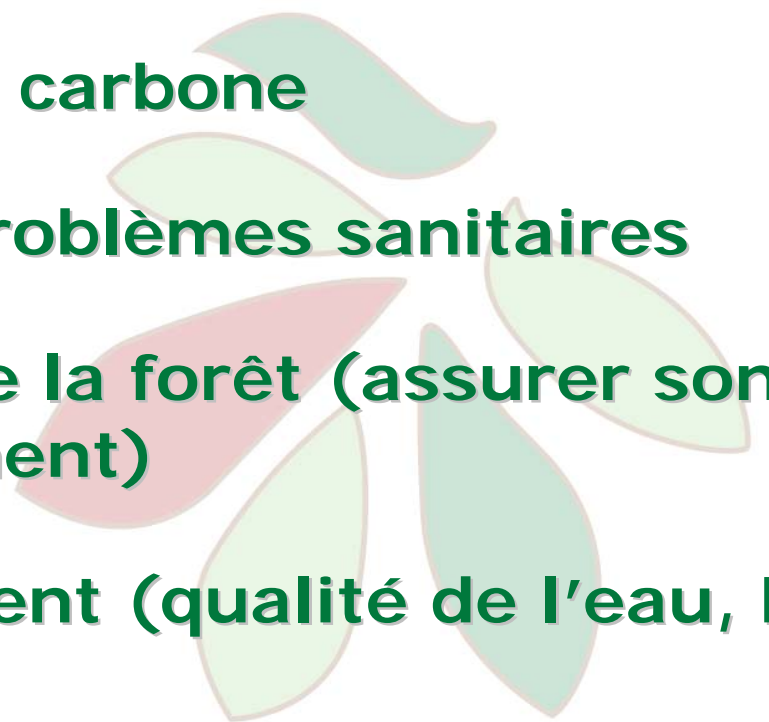


Production feuillue

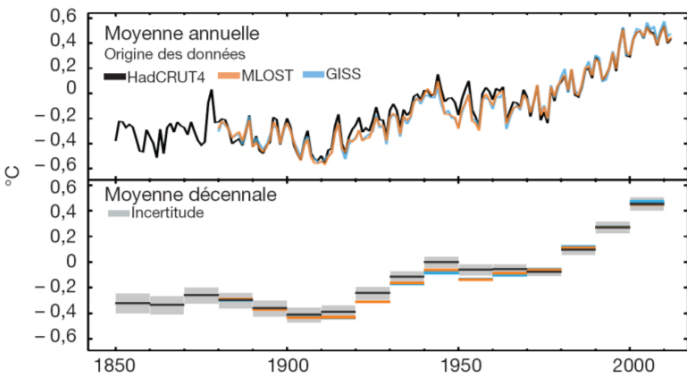


Production résineuse

1: Enjeux forestiers dans un contexte de climat changeant...

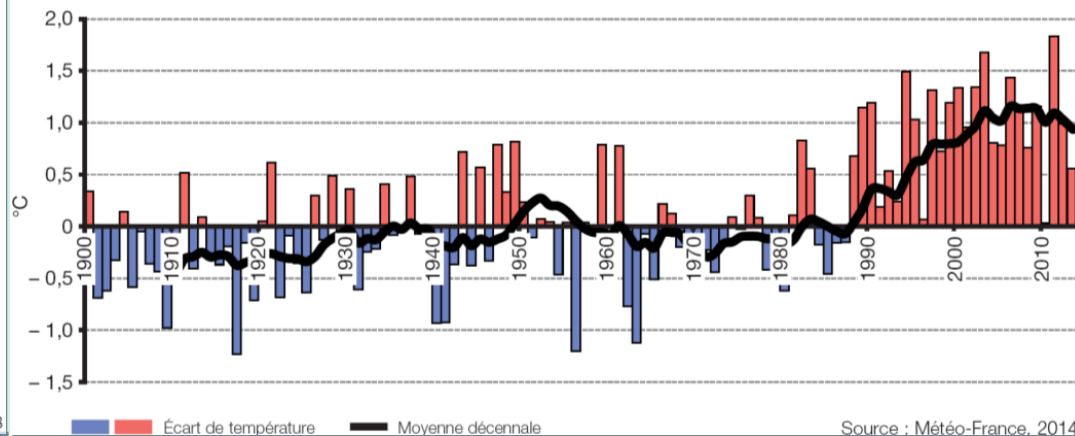
- Produire du bois de qualité ou d'industrie
 - Stockage du carbone
 - Eviter des problèmes sanitaires
 - Durabilité de la forêt (assurer son renouvellement)
 - Environnement (qualité de l'eau, NATURA 2000,...)
 - Multifonctionnalité (chasse, accueil du publique)
 - ...
- 

Évolution des températures globales moyennes de 1850 à 2012 par rapport à la période de référence 1961-1990



Source : Giec, 1^{er} groupe de travail, 2013

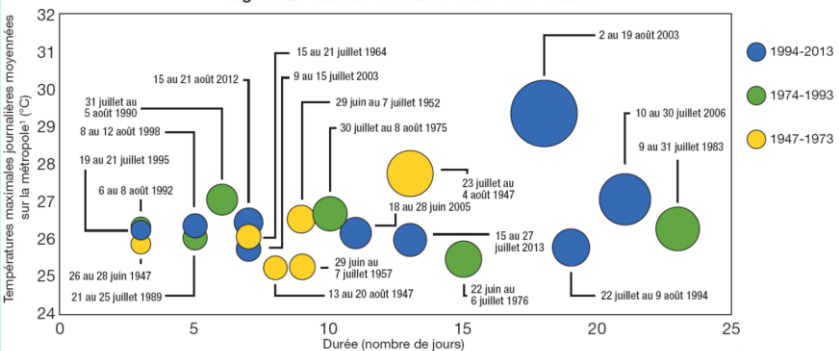
Évolution des températures moyennes en France de 1900 à 2013 par rapport à la période de référence 1961-1990



Source : Météo-France, 2014

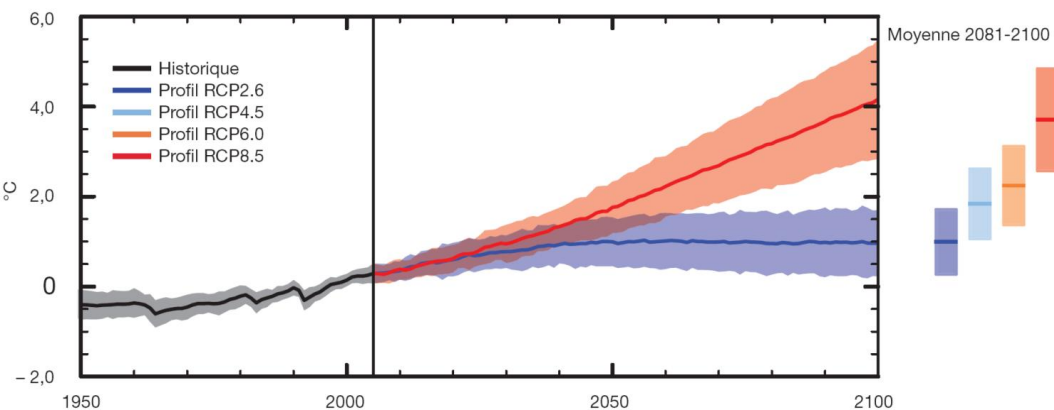
... dans un contexte de climat changeant

Vagues de chaleur en France entre 1947 et 2013



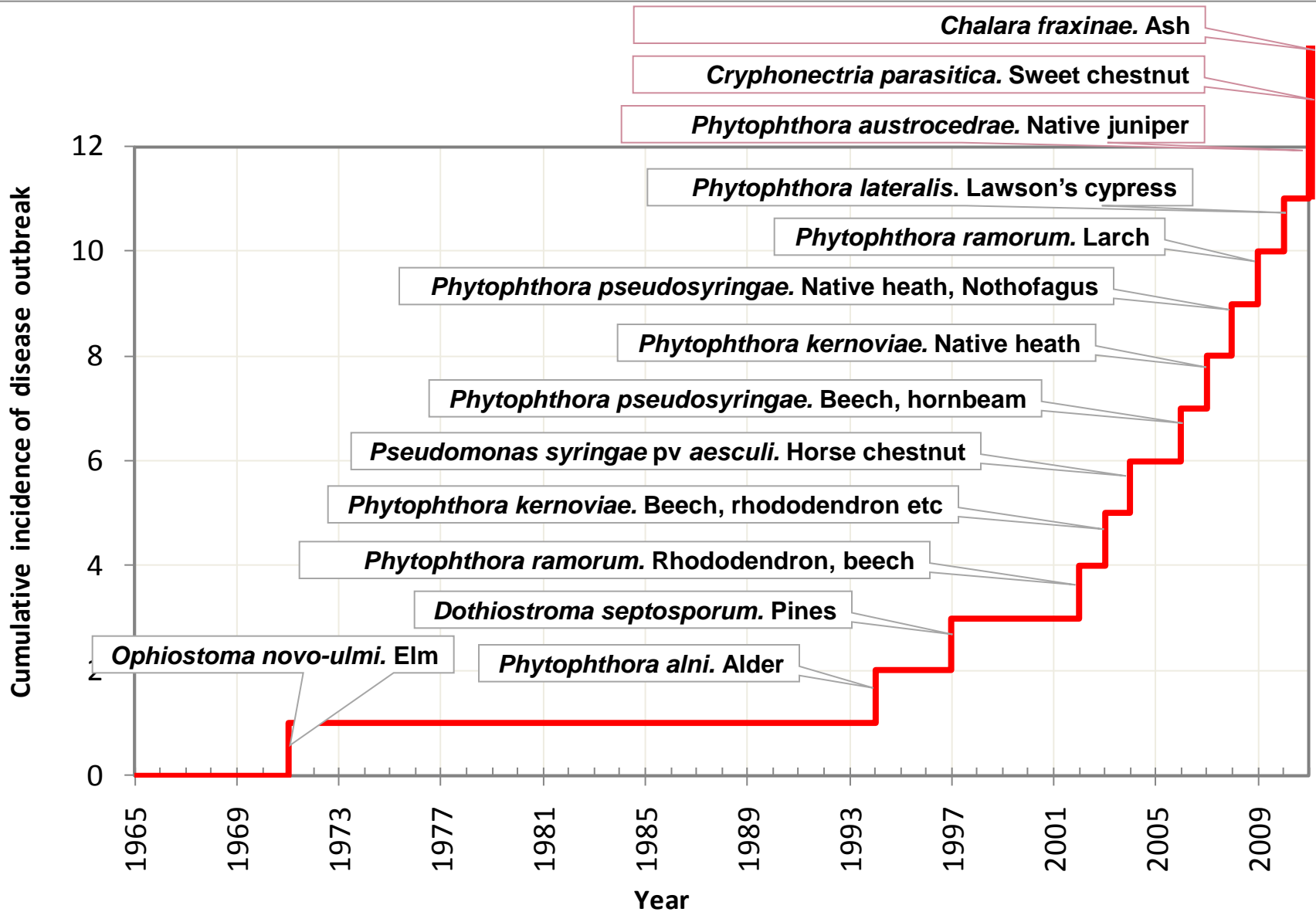
Source : Météo-France, 2013

Projection de la variation de la température moyenne suivant différents scénarios



Source : Giec, 1^{er} groupe de travail, 2013

De plus en plus de problèmes sanitaires



1. Enjeux forestiers dans un contexte de climat changeant...

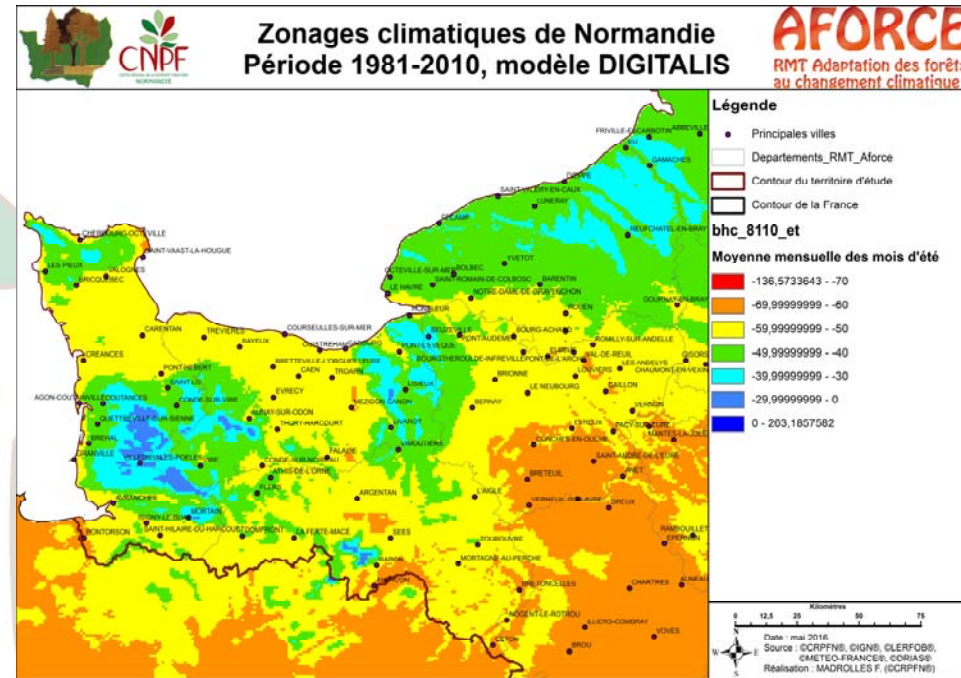
Mieux connaître la variabilité des stations (sol + climat en Normandie) pour anticiper le changement climatique (projet ECOGEODYN)

Dynamisation de la sylviculture (Eclaircies plus dynamiques et baisse des révolutions)

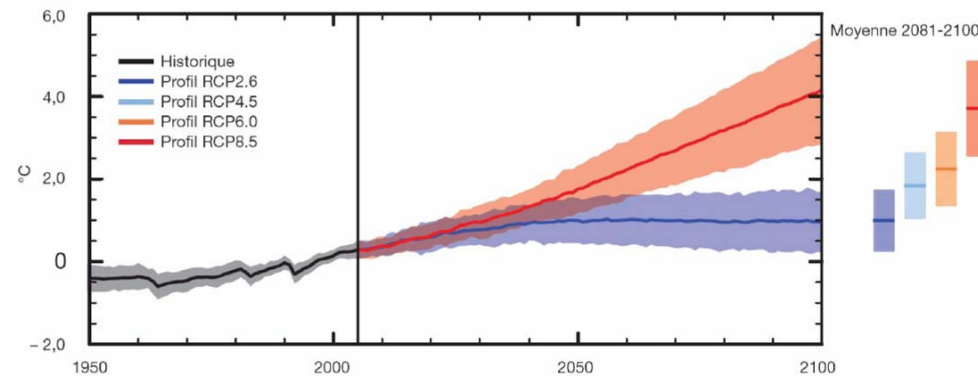
Gestion adaptative, favoriser des individus résistants

Test et introduction d' essences ou de provenances résistantes au changement climatique

Quels impacts de ces pratiques sur le fonctionnement des sols et sur sa biodiversité ?



Projection de la variation de la température moyenne suivant différents scénarios



2 : Outil pour adapter le choix des essences au contexte pédoclimatique : projet ECOGEODYN

ECOGEODYN

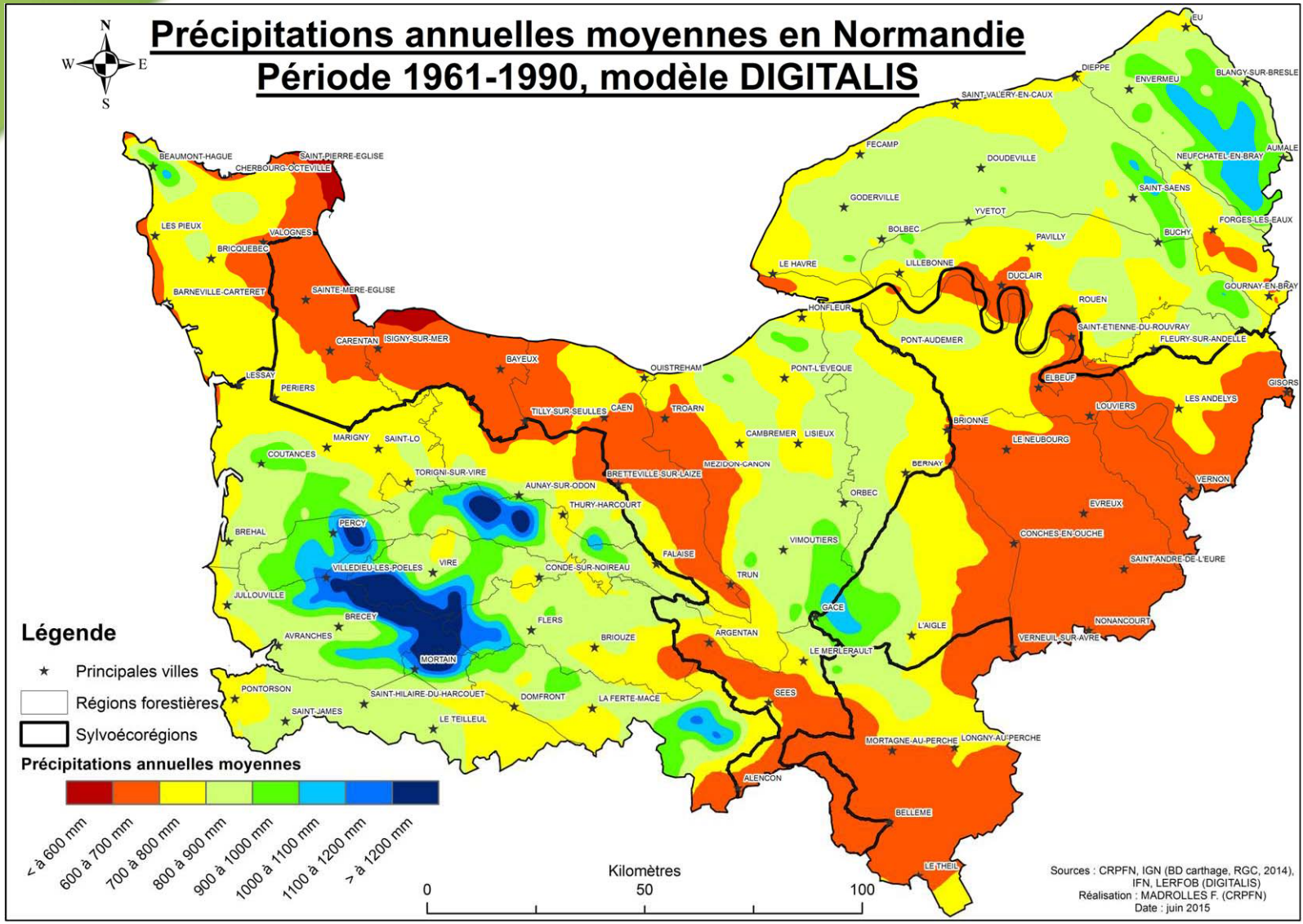
Cartographie prédictive des stations forestières et changements climatiques



ECOGEODYN
ECOGEODYN

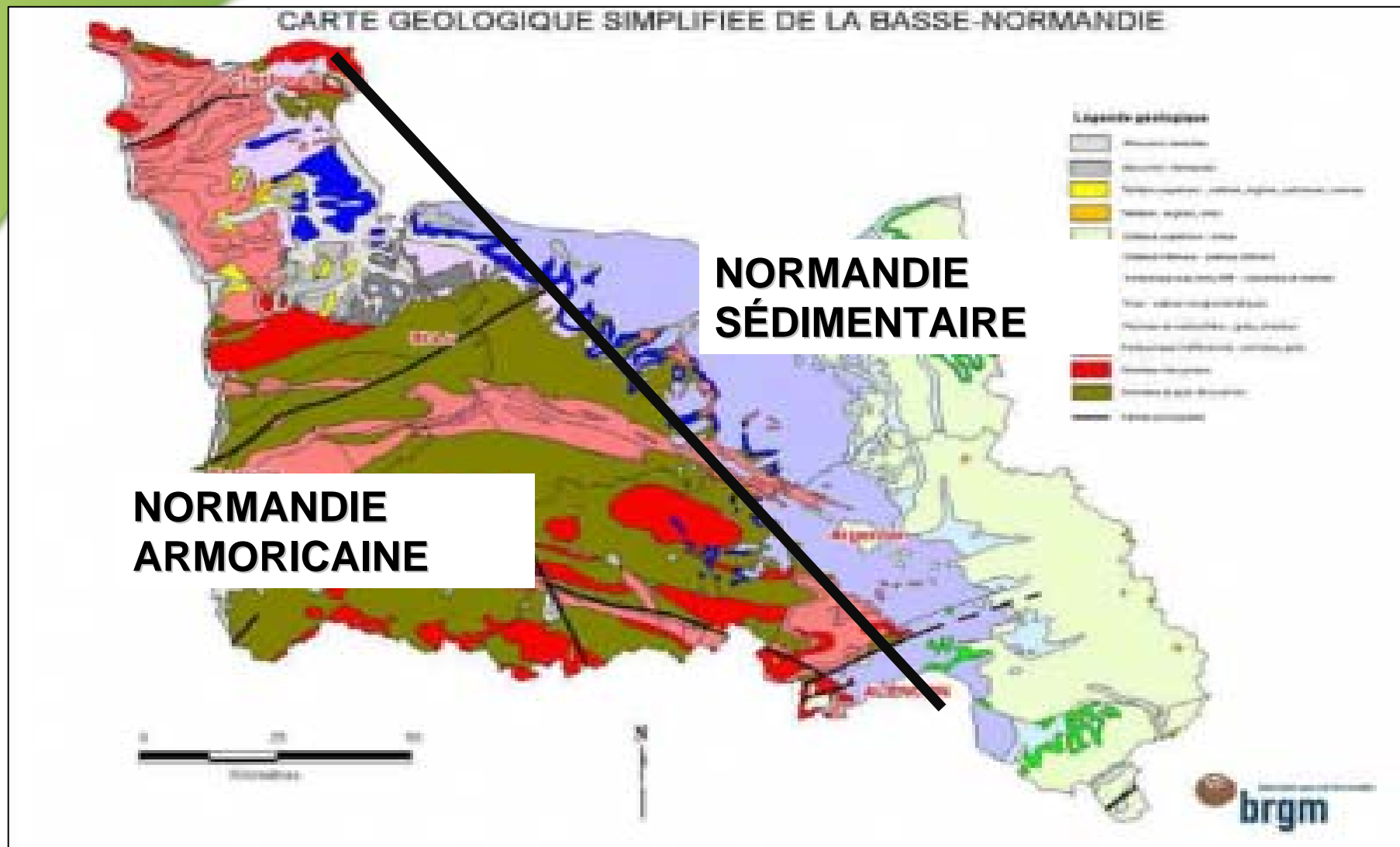


Une harmonisation de la description des stations forestières à l'échelle Normande



Un climat varié

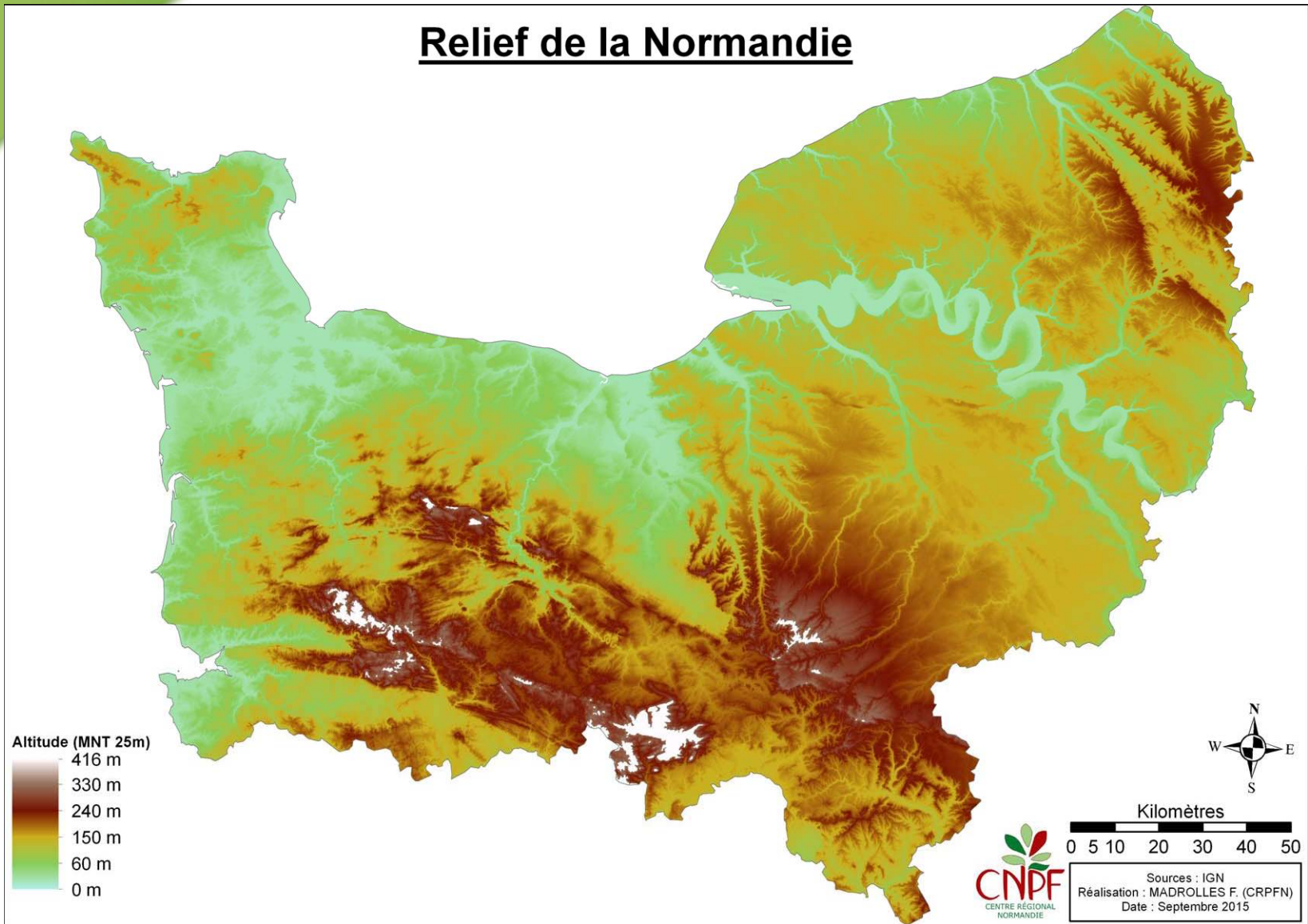
Une harmonisation de la description des stations forestières à l'échelle Normande



Un géologie variée

Une harmonisation de la description des stations forestières à l'échelle Normande

Relief de la Normandie

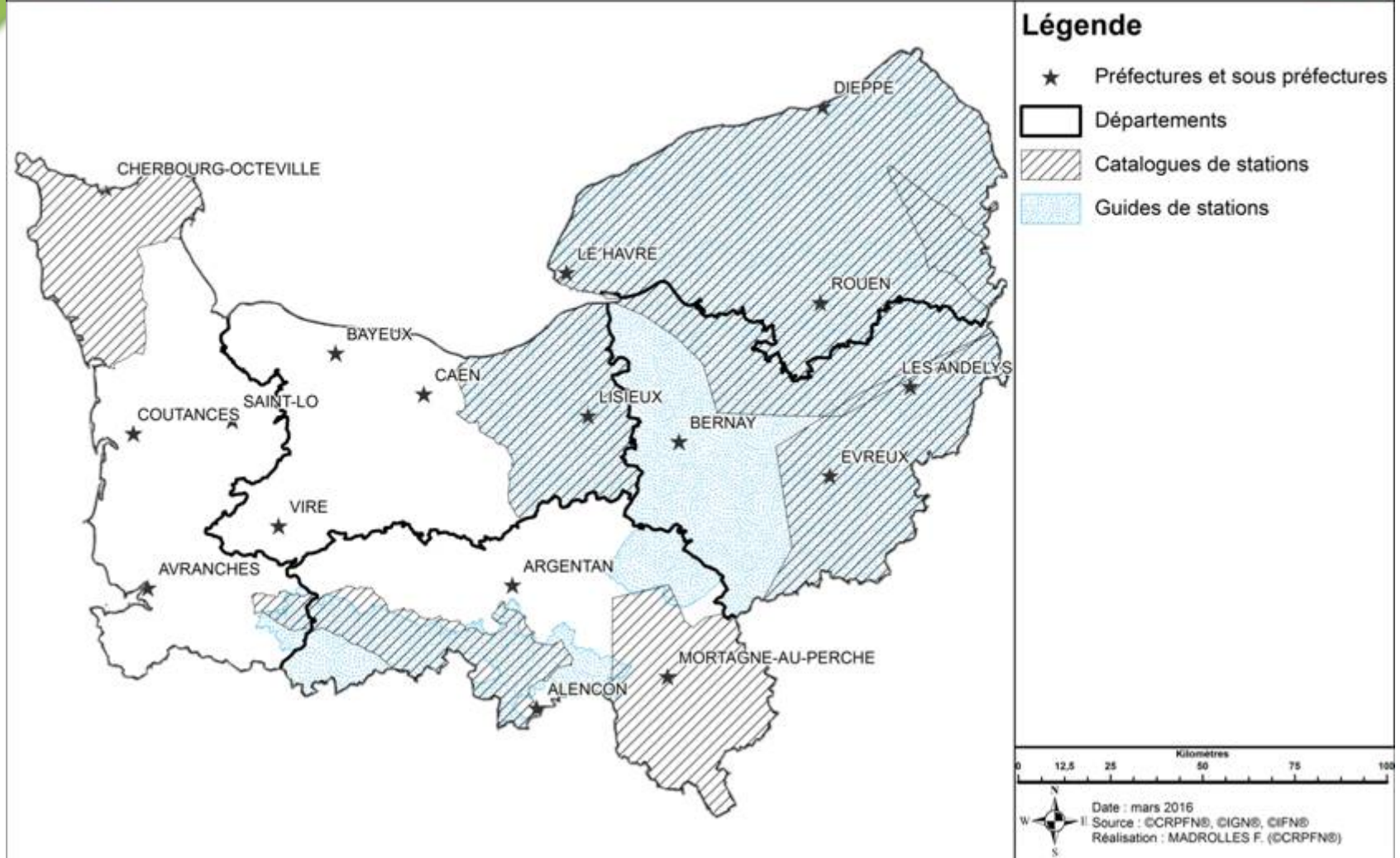


Un relief varié

Une harmonisation de la description des stations forestières à l'échelle Normande



Catalogues et guides de stations disponibles en Normandie

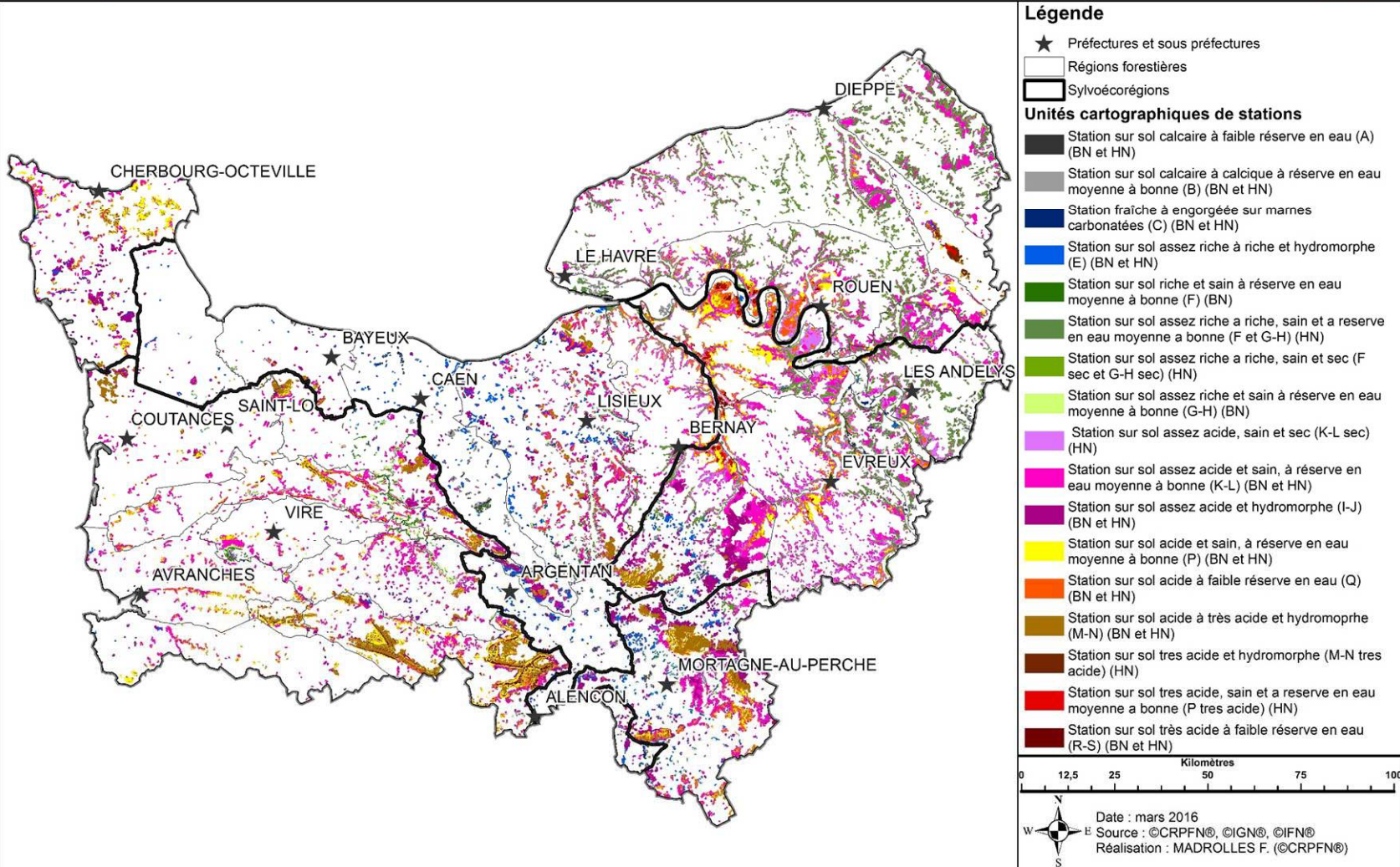


Une couverture en catalogues ou guides non harmonisés et non complète

Une harmonisation de la description des stations forestières à l'échelle Normande



Présentation de la forêt en Normandie Carte prédictive des stations forestières (ECOGEODYN)

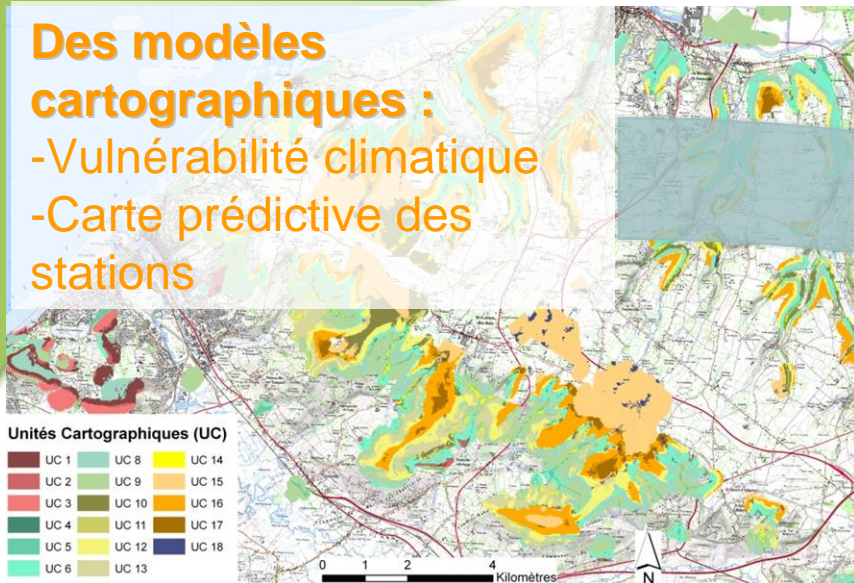


Une réponse la carte prédictive des stations forestières

Démarche de l'outil ECOGEODYN

Des modèles cartographiques :

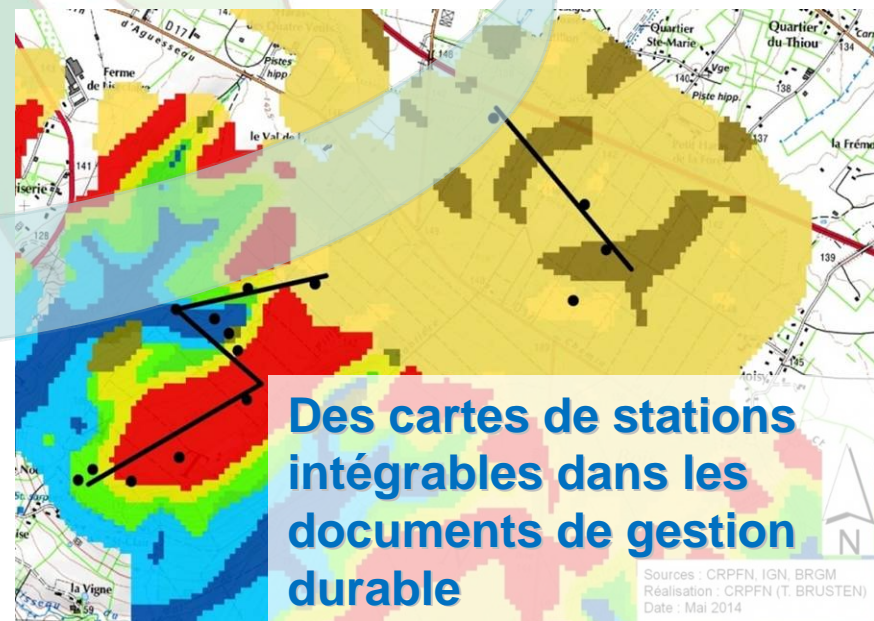
- Vulnérabilité climatique
- Carte prédictive des stations



Un outil de diagnostic de terrain



Des préconisations sylvicoles réfléchies en fonction du climat, de ses changements et de la station



Un projet initié depuis 2012

	Etape	Personne
2012	Préétude pour mettre en place à l'échelle de Normandie un outil de choix des essences et intégrant le changement climatique	L. Mouchet
2013	Méthodologie de mise en place d'une carte prédictive des stations forestières en Basse-Normandie	T. Escrihuela
2014	Mise en place et test de la carte prédictive des stations forestières en Basse-Normandie	T. Brusten
	Préétude pour la mise en place d'une carte prédictive des stations forestières en Haute-Normandie	T. Brusten et A. Gabriel
2015	Usage de la carte prédictive des stations forestières en Basse-Normandie et rédaction d'un guide de choix des essences bas-normands	F. Madrolles
	Mise en place de la carte prédictive des stations forestières en Haute-Normandie	F. Levasseur
2016	Rédaction d'un guide de choix des essences Normand	F. Madrolles
	Test du guide	
	Validation de la carte prédictive des stations normandes	
2017	Edition du guide de choix des essences	F. Madrolles
	Mise à disposition des cartes prédictives des stations forestières	

Un projet de longue haleine avec de nombreuses chevilles ouvrières

Un projet multipartenaire

Partenaires notamment en Basse-Normandie :

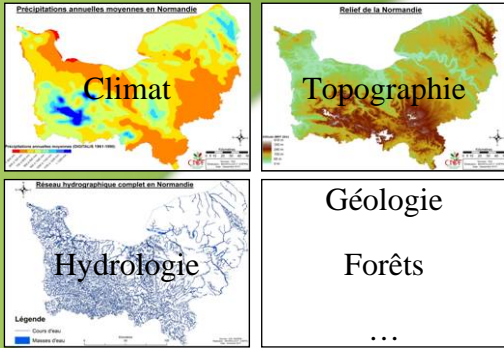


De nombreux partenaires dont les gestionnaires bas-normands

Partenariats encore en cours

Méthodologie de création de la carte prédictive

Données d'entrée des modèles



Phase 1 : Approche typologique

- Définition des groupes d'espèces indicatrices de flore (analyses statistiques multivariées, écogramme)
- Harmonisation des typologies des stations entre les différents guides et catalogues de stations
- ➔ **On identifie des facteurs écologiques structurant la répartition des stations forestières**

Niveau hydrique	Sec	Hyper-acidiphiles	Acidiphiles	Acidiclines	Neutroclines		Neutro-nitrophiles	Neutrocalcicoles	
	Moyen				Hygro-neutroclines		Hygro-neutro-nitrophiles		
	Frais				Hydrophilés				
	Humide (variations saisonnières) Très humide (toute l'année)	Hyperacidiphiles et acidiphiles de milieux engorgés		Acidiclines de milieux humides		Hydrophilés			
		Très acide	Acide	Assez acide	Peu acide	Riche	Calcique	Niveau trophique	

240 cartes numériques : cartes brutes provenant des partenaires de l'étude et déclinaisons des données sous forme d'indices. (LERFoB, IGN, BRGM, Météo-France, CNPF, SANDRE...)

Données interprétées

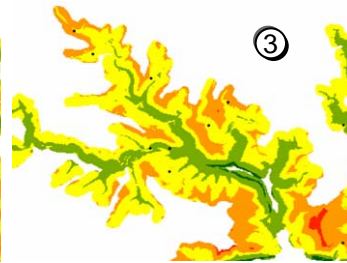
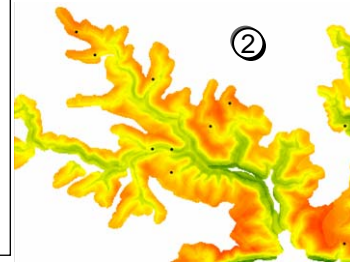
Catalogues et guides de stations



Phase 2 : Facteurs écologiques

- Modélisation statistique des facteurs écologiques à partir des relevés de calibration ① (régressions linéaires multiples)
- Spatialisation des modèles de facteurs écologiques ②
- Classification des données des modèles spatialisés et des cartes ③
- Evaluation et validation des cartes prédictives de facteurs écologiques
- ➔ **On obtient une carte prédictive pour chaque facteur écologique**

① : Relevés de calibration
 ② : Modèle du pH spatialisé
 ③ : modèle du pH classifié et testé
 (Légende : très acide en rouge à calcique à calcaire en vert foncé)



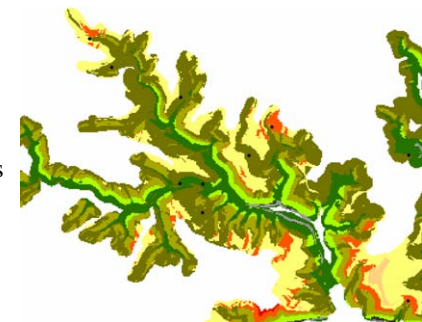
Relevés de stations :

- Base de données de calibration : 3998 relevés (IGN)
- Base de données de validation : 3348 relevés (ECOPLANT, Catalogues des stations, CBN Brest, ONF, SOPHY, Lycée Saint Joseph de Mesnières-en-Bray)

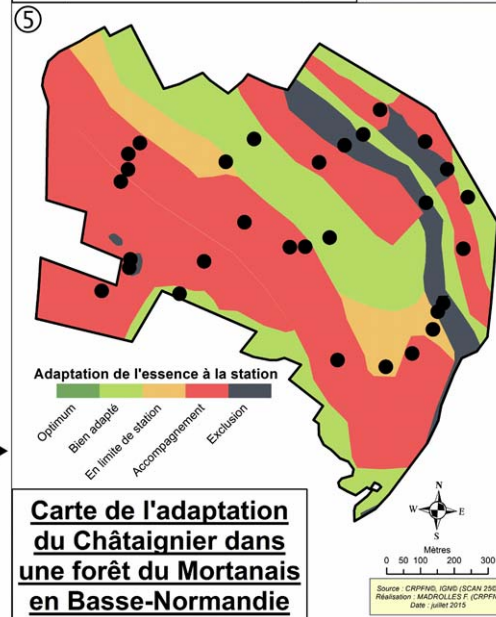
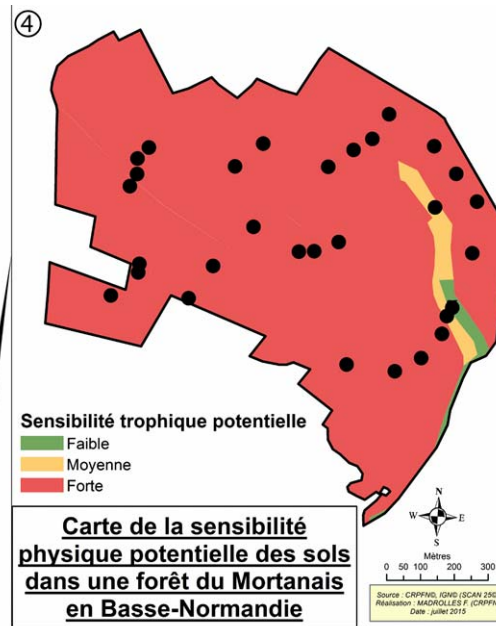
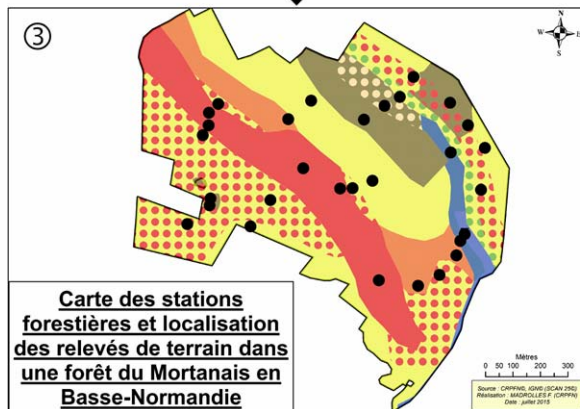
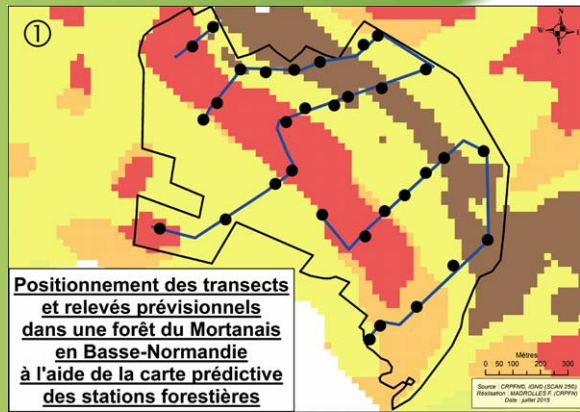
Phase 3 : Cartographie prédictive des stations forestières

- Elaboration de la carte prédictive des stations forestières à partir du croisement des cartes prédictives de facteurs écologiques
- Evaluation et validation de la carte prédictive des stations forestières
- ➔ **On obtient la carte prédictive des stations forestières**

Cartes prédictives :
 pH
 + hydromorphie
 + réserve en eau
 = Pré-stratification des stations forestières
 (Légende : chaque couleur correspond à type de station potentiel)



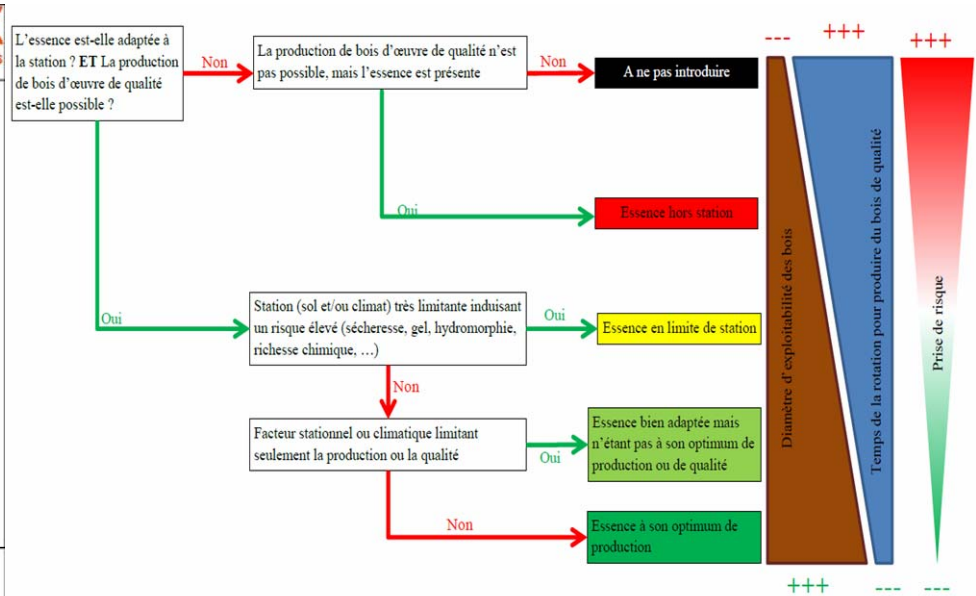
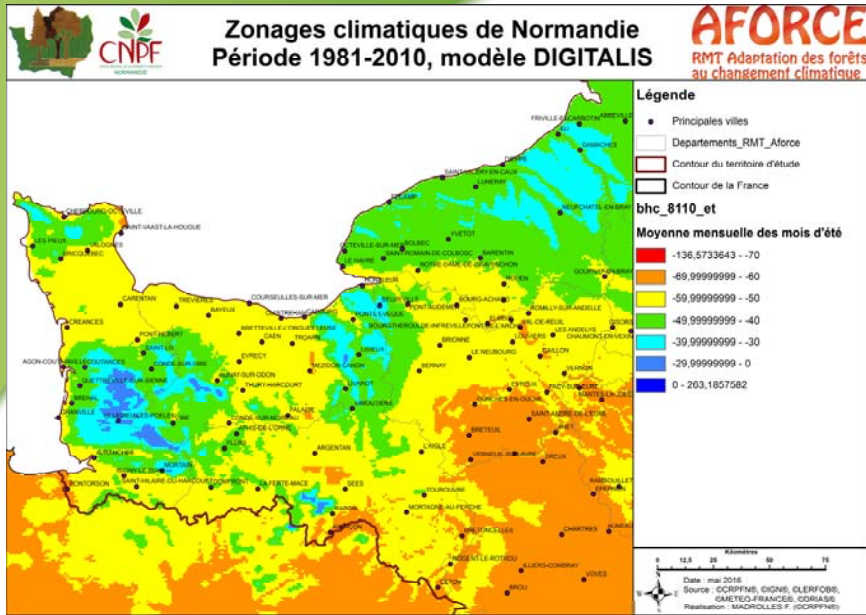
Valorisation de la carte prédictive



Intitulé	12 forêts pilotes			
	Min	Moyenne	Maximum	Total
Surface (ha)	16.5	76.9	208.7	923.0
Nombre de relevés	5.0	21.4	45.0	257.0
Nombre de jours de terrain	0.2	1.5	3.0	17.5
Surface (ha) / relevé	1.4	4.1	17.4	3.6
Surface (ha) / jour de terrain	20.5	55.3	139.1	52.7
Nombre de relevés / jour de terrain	8.0	15.8	25.0	14.7

Un gain important pour la réalisation définitive d'une carte des stations forestières (moyenne de 4 ha par relevé) !

Prise en compte du changement climatique

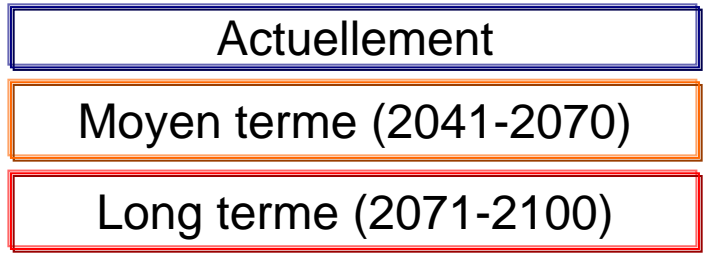


Exemple pour une station acide à bonne réserve en eau

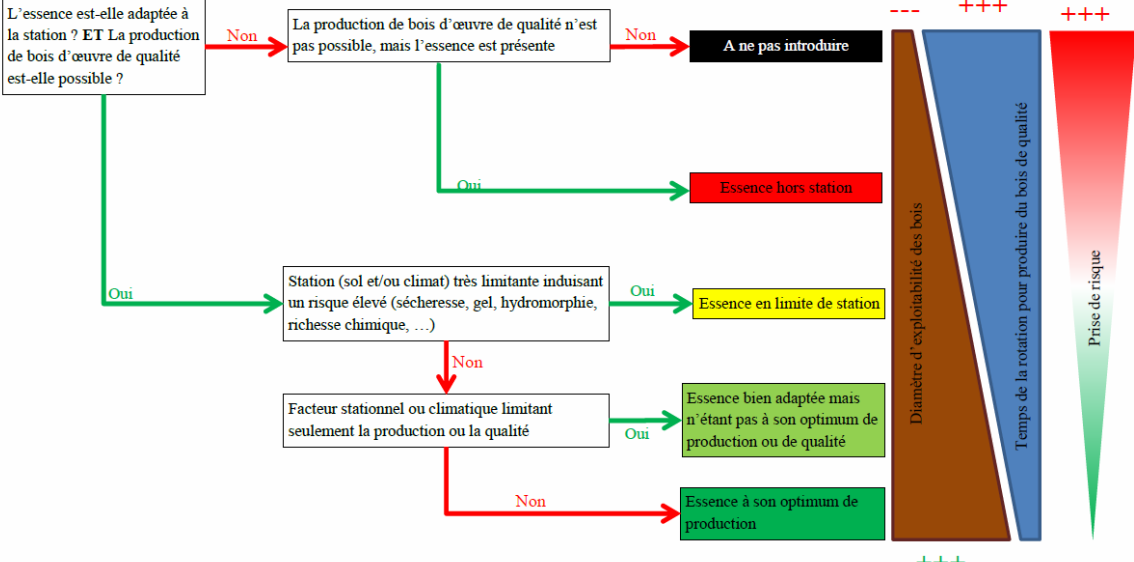
Essences	Zone 1 : très humide	Zone 2 : humide	Zone 3 : mésohydrrique	Zone 4 : sèche	Zone 5 : très sèche	Commentaires
Résineux						
Cèdre	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow	
Douglas	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	A exclure sur les podzols marqués
Epicéa de Sitkha	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	
Pin laricio de Corse	Green	Green	Green	Green	Green	Problème des bandes rouges
Pin maritime	Green	Green	Green	Green	Green	Risque de gelées tardives
Pin sylvestre	Green	Green	Green	Yellow	Red	
Sapin pectiné	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	
Essence principale						
Châtaignier	Green	Green	Green	Green	Green	Risque de rouler
Chêne sessile	Green	Green	Green	Green	Yellow	
Chêne pédonculé	Green	Green	Green	Green	Red	
Chêne Pubescent	Green	Green	Green	Green	Red	
Chêne rouge d'amérique	Green	Green	Green	Green	Red	
Hêtre	Green	Green	Green	Green	Red	
Robinier	Green	Green	Green	Green	Red	En limite sur les stations les plus pauvres
Essence secondaire en mélange						
Alisier torminal	Green	Green	Green	Green	Green	
Bouleau verruqueux	Red	Red	Red	Red	Red	
Bouleau Pubescent	Red	Red	Red	Red	Red	
Cormier	Green	Green	Green	Green	Green	

Adéquation essence-station par zone climatique

Prise en compte du changement climatique (décaler la lecture d'une case (moyen-terme) ou de deux cases (long-terme))



Prise en compte du changement climatique ; Adaptation de la sylviculture



Catégorie	Signification du classement	Plantation / renouvellement	Amélioration	Valorisation de la production
A ne pas introduire	Essence non adaptée aux conditions stationnelles et/ou climatiques actuelles	Jamais	Aucune	Aucun
Essence hors station	Essence peu ou non adaptée aux conditions stationnelles et climatiques <i>Rôle d'accompagnement pour les essences feuillues et résineuses autochtones</i>	Uniquement à but écologique ou sylvicole (gainage, protection des plans contre le gibier...) Seul sont concernés les feuillus et les résineux autochtones (par exemple : Sapin de l'aigle, If...).	Sylviculture douce pour éviter tous les stress possibles. Récolte des bois dès que possible. Favoriser les essences objectives plus adaptées.	Bois souvent de qualité secondaire
Essence en limite de station	Essence moyennement adaptée (sol et ou climat limitant). Plusieurs phases peuvent être critiques comme la réussite initiale de la plantation, la résistance à une sécheresse marquée, la stabilité face aux vents, ... Cette catégorie induit une notion de risque importante.	Très risqué en plein. Préférer des mélanges pied à pied ou par bouquet ou par parquet avec des essences plus adaptées ayant des vitesses de croissance et des sylvicultures assez semblables.	Sylviculture dynamique si possible (peuplement jeune non instable). Eviter les retards d'interventions et toutes les autres sources de stress et de déstabilisation possible (ex : coupe forte dans des peuplements instables très peu éclaircies).	Possibilité de faire de la qualité et de la quantité mais pas sans risques.
Essence bien adapté mais non en conditions optimale	Sol ou climat limitant seulement la production ou la qualité des bois.	En plein pour les essences sociales	Sylviculture classique à dynamique	Qualité en quantité.
Essence en conditions optimale	Aucun facteur limitant. Conditions optimales pour la production de bois de qualité en quantité.			

3. Outil pour adapter la gestion des peuplements déperissant : ARCHI

ARCHI

Méthode d'analyse architecturale des arbres

Diagnostiquer les anomalies du développement (écarts à la normale) ainsi que les processus de résilience (retours à la normale) d'un arbre après un stress pour prendre objectivement une décision (sélection des arbres d'avenir, récolte d'arbres peu vigoureux...)



Exemple du chêne pédonculé

Pour aller plus loin : Forêt entreprise n°200



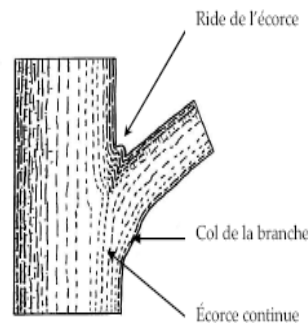
A) Observation de la ramification + distinction branches et gourmands



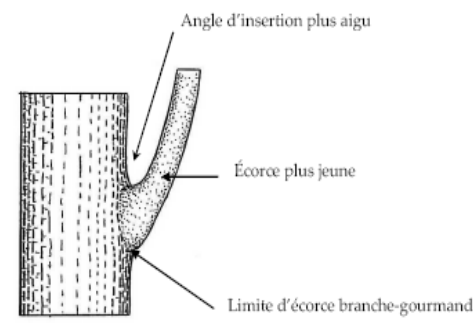
Ramification normale



Ramification appauvrie



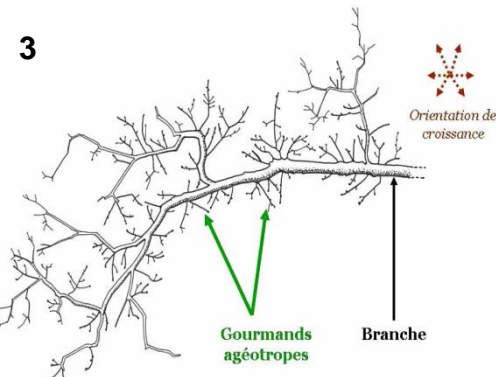
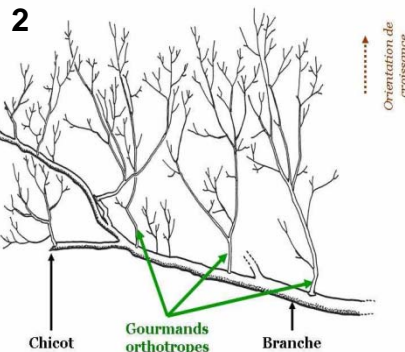
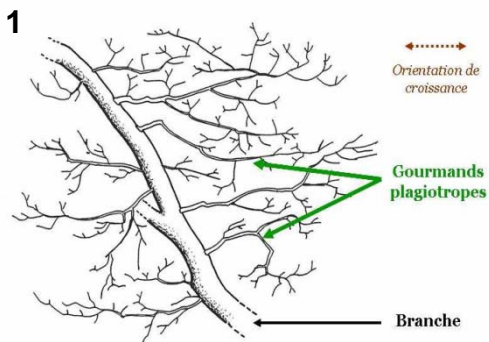
La branche



Le gourmand

Gourmand, souvent en coude avec la branche porteuse

B) Détermination du type de gourmand

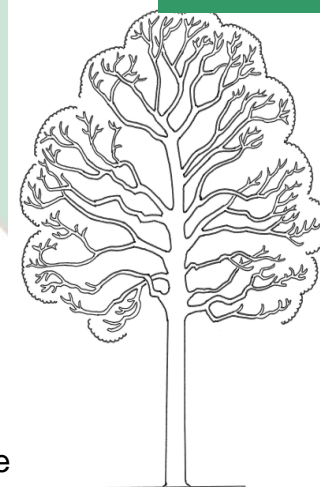


Trois types de gourmands :

- 1) Gourmand plagiotrope (croissance horizontale)
- 2) Gourmand orthotrope (croissance verticale vers le haut)
- 3) Gourmand agéotrope (petits et sans direction de croissance privilégiée)

A+B = C) Détermination du type ARCHI

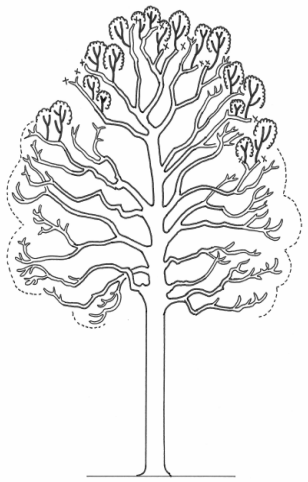
Le Type ARCHI sain



- Pas de mortalité dans la partie supérieure du houppier
- Ramification normale des branches sommitales

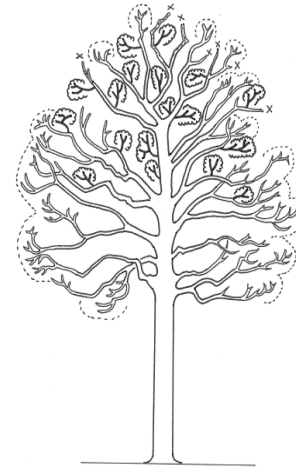
Méthode de diagnostic ARCHI : Application au Chêne pédonculé (2)

Le Type ARCHI R : Résilient



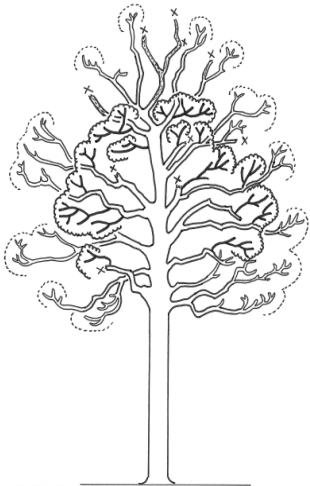
Branches sommitales remplacées ou en cours de remplacement par des gourmands orthotropes à ramification normale

Le Type ARCHI S : Stressé



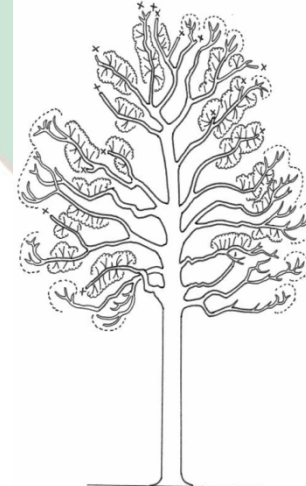
- Mortalité du houppier et gourmands présents
- Aucun type de gourmand prépondérant ou orthotrope à ramification appauvrie ou plagiotrope à ramification normale

Le Type ARCHI D : Descente de cime



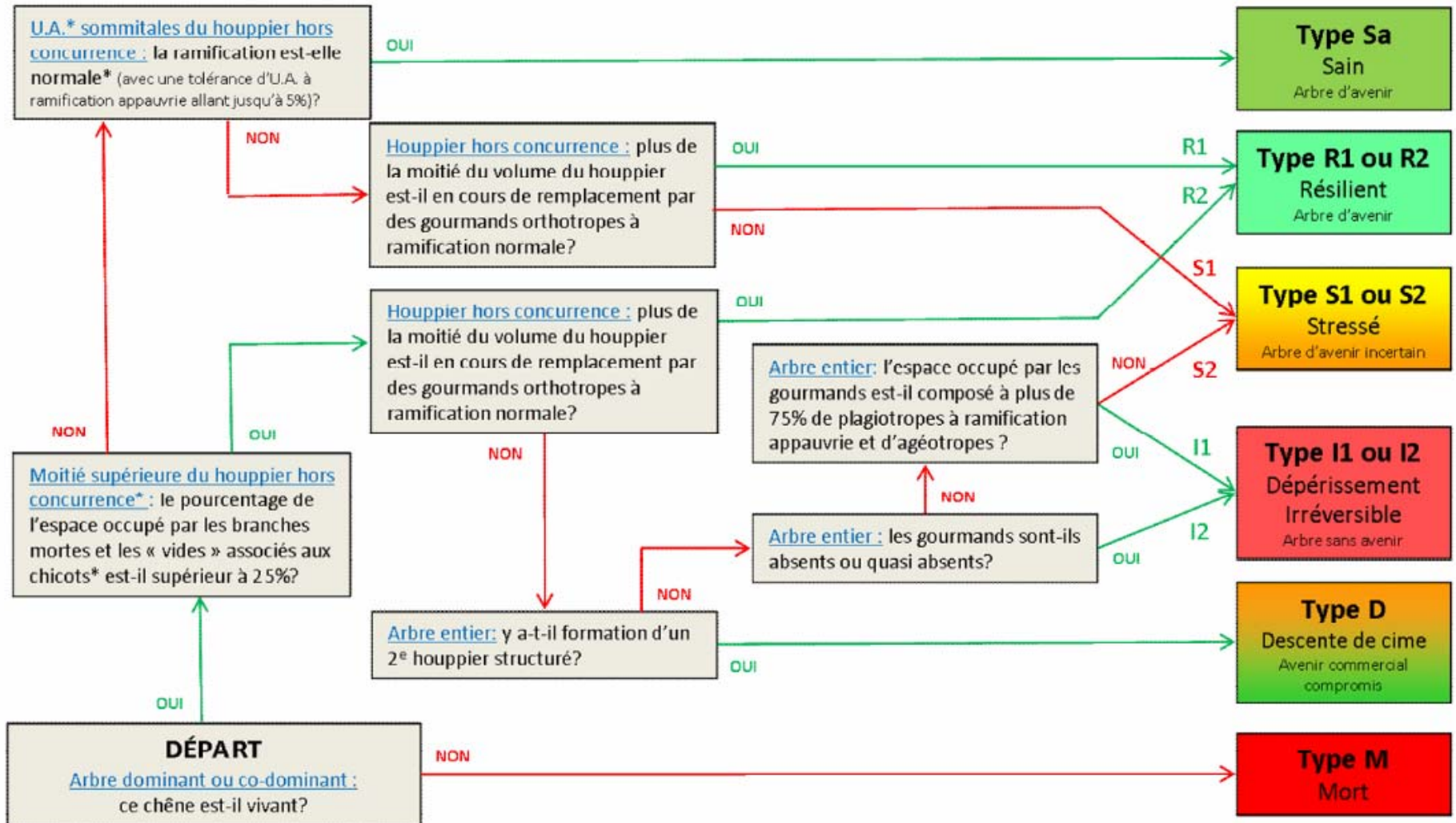
Mortalité du houppier supérieur et formation d'un second houppier distinct et structuré en dessous

Le Type ARCHI I : Irréversible



- Mortalité du houppier
- Gourmands rares ou absents ou gourmands agéotropes dominants ou gourmands plagiotropes à ramification appauvrie

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



Houppier hors concurrence : partie du houppier excluant les zones inférieures ou latérales soumises à des phénomènes de concurrence.

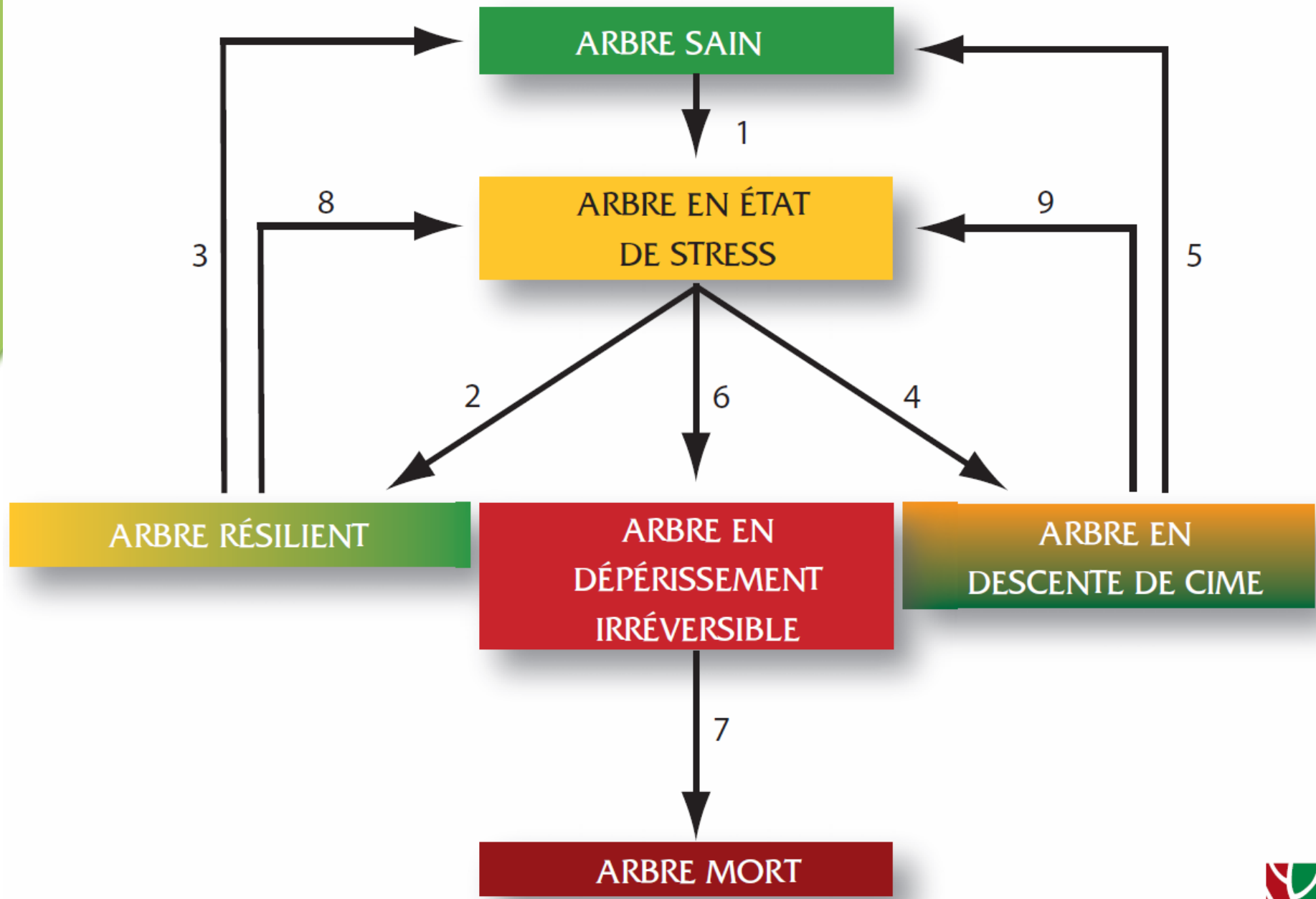
Chicot : branche cassée de diamètre supérieur à 3 cm. Ne pas confondre « chicot » (plaie non recouverte par du bois) et « coude » (plaie recouverte).

Unité architecturale (U.A.) : architecture élémentaire de l'arbre. La première est à l'origine du tronc, les suivantes dérivent les unes des autres par répétition et forment le houppier. Le long d'une branche maîtresse, chaque U.A. réitérée est délimitée par deux fourches successives.

A1, A2, A3, A4 : l'axe principal d'une U.A. est noté A1, il porte des axes secondaires A2, ceux-ci produisent des rameaux longs A3, lesquels donnent des rameaux courts A4.
U.A. à ramification normale : U.A. au contour quasi-pyramidal présentant un gradient de ramification depuis l'A1 jusqu'aux rameaux A3 et A4. La reconnaissance d'une ramification normale se fait par référence aux arbres sains situés à proximité de l'observateur.

U.A. à ramification appauvrie : U.A. de forme colonnaire présentant un passage brutal de l'A1 aux rameaux courts.

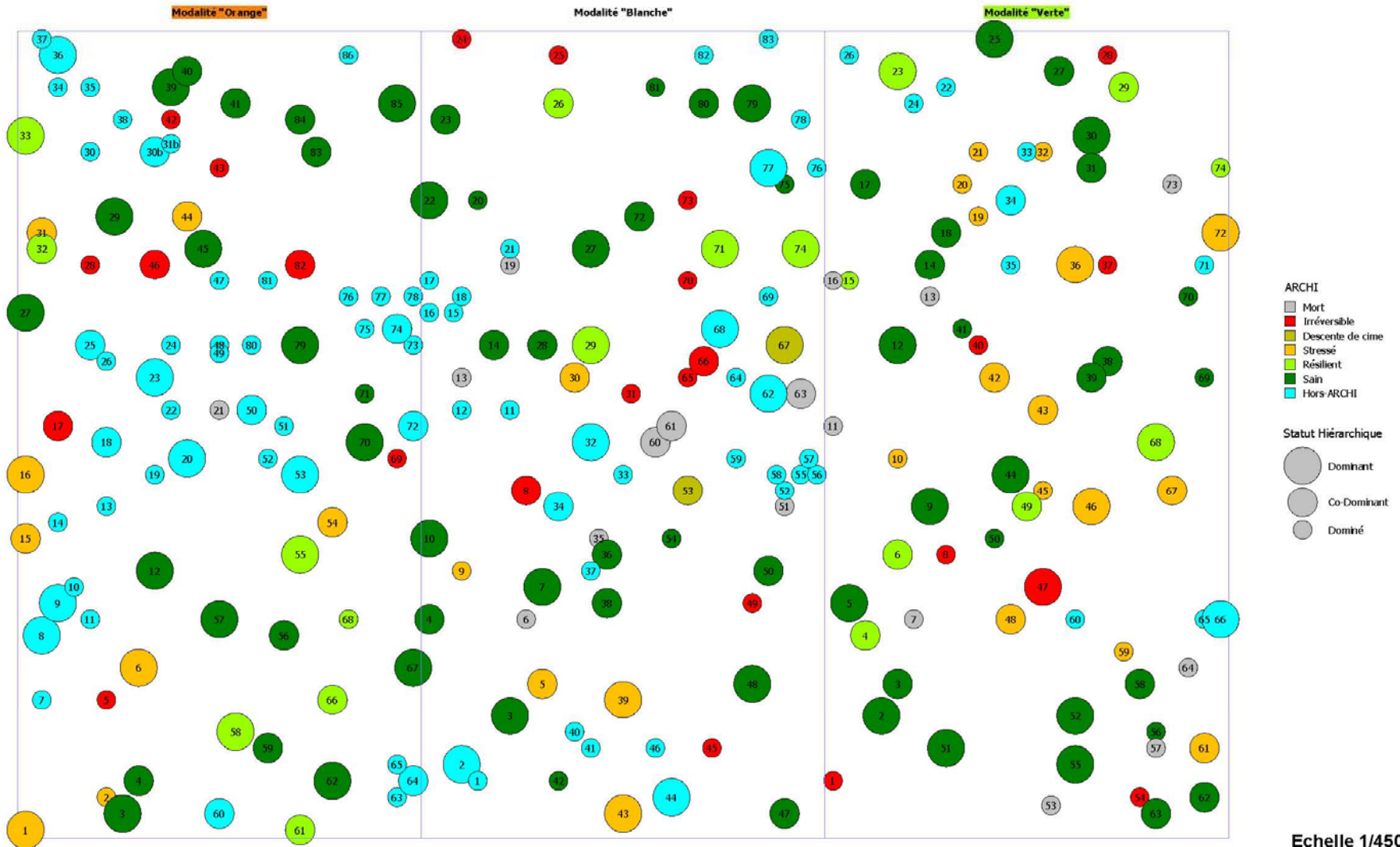
2e houppier : structure constituée de gourmands (parfois mélangés à des branches) hiérarchisés entre eux, certains étant dominants, d'autres dominés.



Les dynamiques de réaction d'un arbre après un dépérissement selon la méthode ARCHI.

Carte de présentation du Marteloscope

Répartition ARCHI/Hiérarchie



4 : Importance de l'expérimentation : REINFORCE

REINFFORCE

(Réseau INFrastructure de recherche pour le suivi et l'adaptation des FORêts au Changement climatiqueE)

Création d'un réseau d'arboretums et de sites de démonstration pour suivre l'adaptation des espèces forestières au changement climatique



Pour aller plus loin : Forêt entreprise n°223



Figure 1 - Réseau d'arboretums et sites de démonstration Reinforce.



Arboreta & Demonstration site network

PARTNERS RESPONSIBLE FOR SITE MANAGEMENT

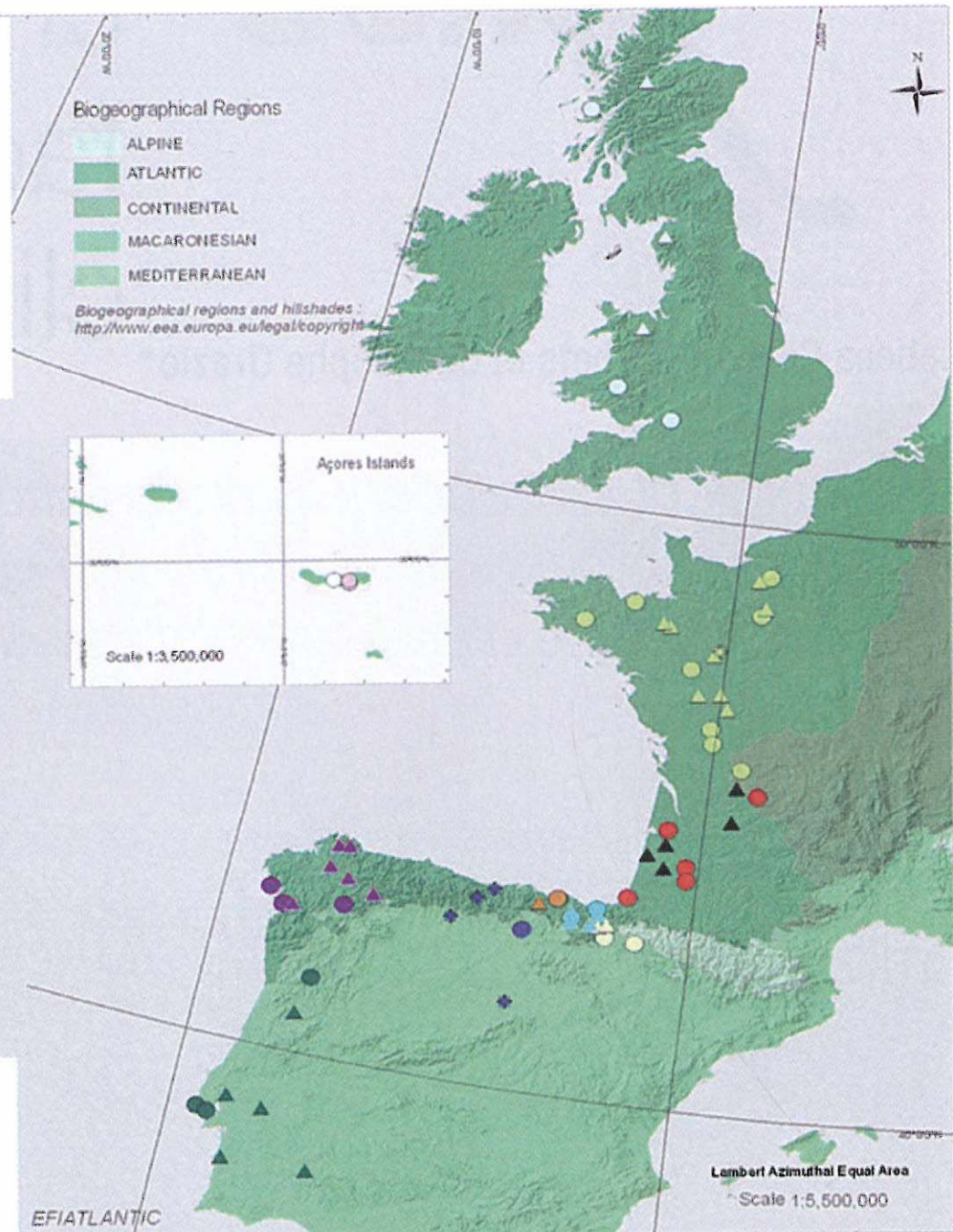
Site manager contact information can be found on the REINFFORCE website

- ▲ Centro de Investigación Forestal (CIF), Galicia, España
- ▲ Fundación General de la Universidad de Valladolid (FGUVA), España
- △ Forest Research (FR), United Kingdom
- △ Gestión Ambiental de Navarra (GAN), España
- ▲ HAZI Konsultoria, España
- ▲ Institut pour le Développement Forestier (IDF), France
- ▲ Instituto Superior de Agronomia (ISA), Portugal
- ▲ Neiker Tecnalia, Euskadi, España
- ▲ Centre Régional de la Propriété Forestière d'Aquitaine (CRPF), France
- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), France
- Fumas Monitoring and Research Centre, Azorina S.A., Portugal*
- Direção Regional dos Recursos Florestais (DRRF), Portugal*

*Not financed by INTERREG

Lead Partner: L'Institut Européen de la Forêt Cultivée (IEFC), France

- Arboretum
- △ Demonstration Site
- ⊗ Arboretum and demonstration site at the same location



Quelques chiffres

- 38 espèces d'arbres sélectionnées parmi un panel de 174 essences forestières en utilisant un outil d'aide à la décision couplant 17 indicateurs et des analyses multicritères
 - 38 sites sélectionnés en Europe pour l'installation d'arboretums dans 4 régions biogéographiques dont 14 en France sur la façade atlantique
 - 1 arboretum = 2ha
 - 3 provenances génétiques obligatoires pour chaque essence dans tous les arboretums (12 arbres/essences)
 - Suivi commun de la croissance, de l'état sanitaire, et de la phénologie pour 15 ans
- Le même matériel génétique produit dans les mêmes conditions est exposé à divers climats/sols
- 2000 arbres ; 38 essences ; 166 unités génétiques ; 12 plants chacun

Acer pseudoplatanus L.
Betula pendula Roth
Calocedrus decurrens (Torr.) Florin
Castanea sativa Mill.
Cedrus atlantica (Endl.) Manetti ex Carrière
Cedrus libani A.Rich.
Ceratonia siliqua L.
Cunninghamia lanceolata (Lamb.) Hook.
Cupressus sempervirens L.
Eucalyptus nitens (H.Deane & Maiden) Maiden,
Eucalyptus x gundal (origine *E. gunni* Hook.f. x *dalrympleana* Maiden), *E.globulus* Labill.
Fagus orientalis Lipsky
Fagus sylvatica L.
Larix decidua Mill.
Liquidambar styraciflua L.
Pinus brutia Ten.
Pinus elliotii Engelm.
Pinus nigra subsp. *laricio* Maire, *P.nigra* subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco
Pinus peuce Griseb.
Pinus pinaster Aiton
Pinus pinea L.
Pinus ponderosa Douglas ex C.Lawson
Pinus sylvestris L.
Pinus taeda L.
Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco
Quercus ilex subsp. *ilex* L., *Q.ilex* subsp. *rotundifolia* (Lam.) O. Schwarz ex Tab. Morais
Quercus petraea (Matt.) Liebl.
Quercus robur L.
Quercus rubra L., *Q. phellos* L.
Quercus suber L.
Robinia pseudoacacia L.
Sequoia sempervirens (D.Don) Endl.
Thuja plicata Donn ex D. Don

Taxonomic reference : <http://www.theplantlist.org/>