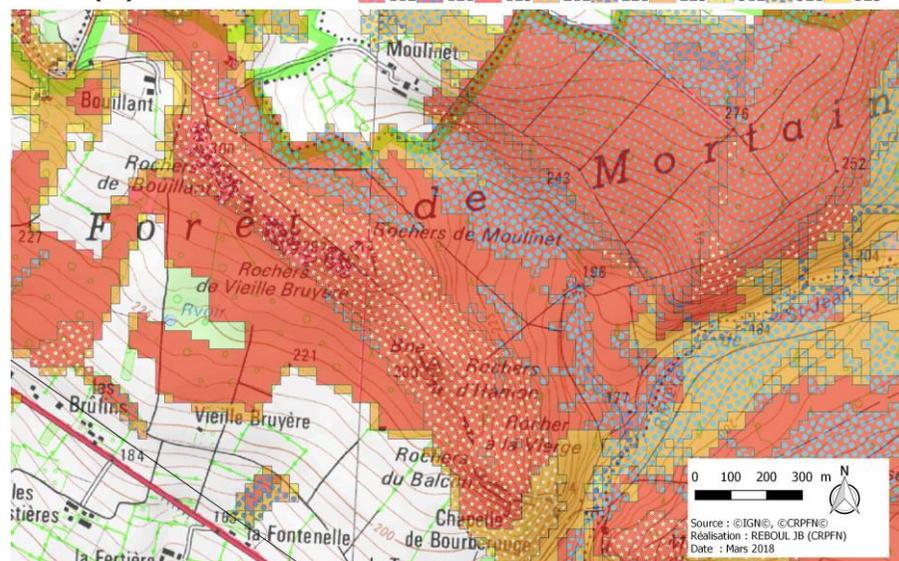


Prédiction spatiale des stations forestières dans le Nord-Ouest de la France (PRESTATION NO)

Jean-Baptiste REBOUL (CNPf-CRPF Normandie) et Christian PIEDALLU (AgroParisTech)

Extrait de la pré-cartographie des stations dans les environs de Mortain (50)



Contexte

La zone d'étude (régions Hauts de France, Normandie, Ile de France, Centre Val de Loire) est couverte presque entièrement par des catalogues/guides de stations, sans que ces derniers soient valorisés sous forme de cartographies des stations forestières, intégrées dans les documents de gestion durable en forêt privée. Cela vient souvent du fait que la réalisation d'une carte des stations forestières est une opération lourde et technique pour le gestionnaire/propriétaire forestier, qui procèdent de façon systématique à raison au minimum d'un point par hectare. Néanmoins, une méthodologie avait été développée par le LERFOB dans la région Vosgienne (PIEDALLU C., et al. 2006), pour la réalisation d'une carte prédictive des stations forestières,

sans que les gestionnaires/propriétaires aient pris en main ce nouvel outil. Il nous a semblé intéressant de tester si cette méthodologie était reproductible sur le territoire d'étude et si la pré-cartographie en résultant pouvait être une base pour simplifier le travail de cartographie définitive des stations forestières.

Une autre limite des catalogues/guides de la zone d'étude est qu'ils n'intègrent pas ou peu les variations climatiques dans l'espace, mais aussi l'impact potentiel du changement climatique.

Objectifs

- Reprendre et améliorer la méthodologie de mise en place de pré-cartographie des stations forestières. Identifier les étapes clés de la mise en place d'une pré-cartographie des stations et juger de sa reproductibilité dans d'autres régions.
- Tester la fiabilité de la pré-cartographie et identifier ses différentes limites possibles et les liens possibles avec les guides de choix des essences existant. Rédiger des notices d'utilisation de ces nouveaux outils...
- Réaliser un zonage climatique de la zone d'étude selon une méthodologie proche de celle de Joly (Joly et al., 2010) et voir son évolution avec le changement climatique selon les modèles et les différents scénarios d'émission de carbone et à différents pas de temps.

Démarche

- Mise en place d'une base de données conséquente de relevés phytécologiques et mise en place d'une base de données cartographique.
- Modélisation de trois variables pédologiques : pH bioindiqué (ECOPLANT) de l'horizon A ; réserve utile en eau maximale de Wösten sur 90 cm ; profondeur d'apparition d'une hydromorphie marquée.
- Reclassification de ces variables pédologiques au niveau des régions administratives et croisement pour arriver à une pré-cartographie des stations forestières (36 unités = 6 classes de niveau trophique * 2 classes de réserve utile en eau maximale * 3 classes de niveau d'hydromorphie).
- Validation de ces modèles et de la pré-cartographie : zone d'étude/région administrative/département/SER/région forestière/forêts pilotes = massifs allant de 20 à 500 ha avec une carte des stations.

- ACP/CAH/AFD sur les données climatiques DIGITALIS (1981-2010) DRIAS pour le zonage climatique présent et futur.

Résultats marquants — (présentés sous forme de puces séparées)

- Base de données de relevés phytoécologiques conséquentes = 11 fournisseurs pour 43 études différentes = 41 200 relevés dont 26 338 relevés dont 26 338 à la localisation précise.
- Un réseau de forêts pilotes qui couvre la diversité des régions forestières (21 en Normandie pour 2 705 ha, 26 en haut de France pour 1458 ha, 10 en Ile de France et Centre Val de Loire pour 515 ha).
- Une pré-cartographie des stations forestières spécifique à chaque région administrative.
- Une pré-cartographie diffusée en Normandie auprès des gestionnaires, avec une notice sur comment l'utiliser pour simplifier les démarches de cartographie.

Principales conclusions incluant des points-clés de discussion

- Développer et renforcer les outils de centralisation des relevés phytoécologiques (ECOPLANT et DONESOL...) en forêt, car beaucoup de relevés sont encore dispersés et non centralisés...
- Apport important des cartes de l'ancienneté des forêts dans l'amélioration du modèle du niveau trophique, ainsi que des cartes pédologiques au 1/50000ème sur l'ensemble des modèles. Ce sont deux axes essentiels d'amélioration future de la pré-cartographie des stations forestières...
- Questionnement important sur l'amélioration des modèles notamment sur le risque d'engorgement avec des MNT plus précis de l'ordre de 5 m (LIDAR). Comment gérer cette donnée volumineuse ; des indices locaux seront-ils plus pertinents que des indices calculés à des échelles plus larges ?
- Une grande variabilité de l'évolution des zonages climatiques selon le modèle climatique testé, ce qui pose la question de comment gérer leur multiplicité ?

Perspectives

La création d'un outil de centralisation de la donnée station, afin d'améliorer en continu les modèles sur les variables pédologiques est une perspective. Le

croisement des cartes de stations avec la carte des peuplements des forêts pilotes, pour engager une réflexion sur les choix d'aménagement par rapport au changement climatique est une autre possibilité.

Valorisation (scientifique : publications, chapitre d'ouvrage, présentation lors de conférences,...signaler d'éventuels prix) ; économique : enveloppe Soleau, brevet, licence,... ; diffusion : communiqué de presse, interview, présentations grand public...):

- Madrolles F., Reboul J.-B. (2016). Le projet ECOGEO DYN en Normandie : des cartes prédictives aux utilisations pratiques dans les forêts normandes. Forêt-entreprise, 228, p. 44-48.
- Madrolles F., Reboul J-B (2018). Guide de choix des essences de Normandie. CRPFN. 212 p.

Mise à disposition de la pré-cartographie des stations forestières pour la Normandie sur le site internet du CRPF :

<https://normandie.cnpf.fr/n/cartographie-des-stations-forestieres/n:3305>

Effet levier du projet

La région Normandie finance actuellement la mise en place de cartes de stations forestières en s'aidant de la pré-cartographie, avec obligation pour les gestionnaires/propriétaires de renvoyer les relevés localisés au CRPFN. A terme, ces nouvelles données permettront d'améliorer les modèles. La région Hauts de France qui finance déjà la mise en place de cartes de stations forestières va également obliger les réalisateurs à renvoyer les fiches de relevés au CRPFN.

Détail auteurs :

Projet réalisé en partenariat avec : AgroParisTech-LERFoB ; INRA Orléans, RMT SOL ; Chambre d'agriculture de l'Indre, RMT SOL ; ONF ; CNPF-IDF ; CRPF Île-de-France-Centre-Val-de-Loire ; CRPF Nord-Pas-De-Calais-Picardie

Avec la collaboration de : IGN, BRGM

PRESTATION NO

Pré-cartographie des stations forestières sur le Nord-Ouest de la France



AFORCE



I) Principes de la réalisation de la pré-cartographie des stations forestières sur le quart Nord-Ouest de la France

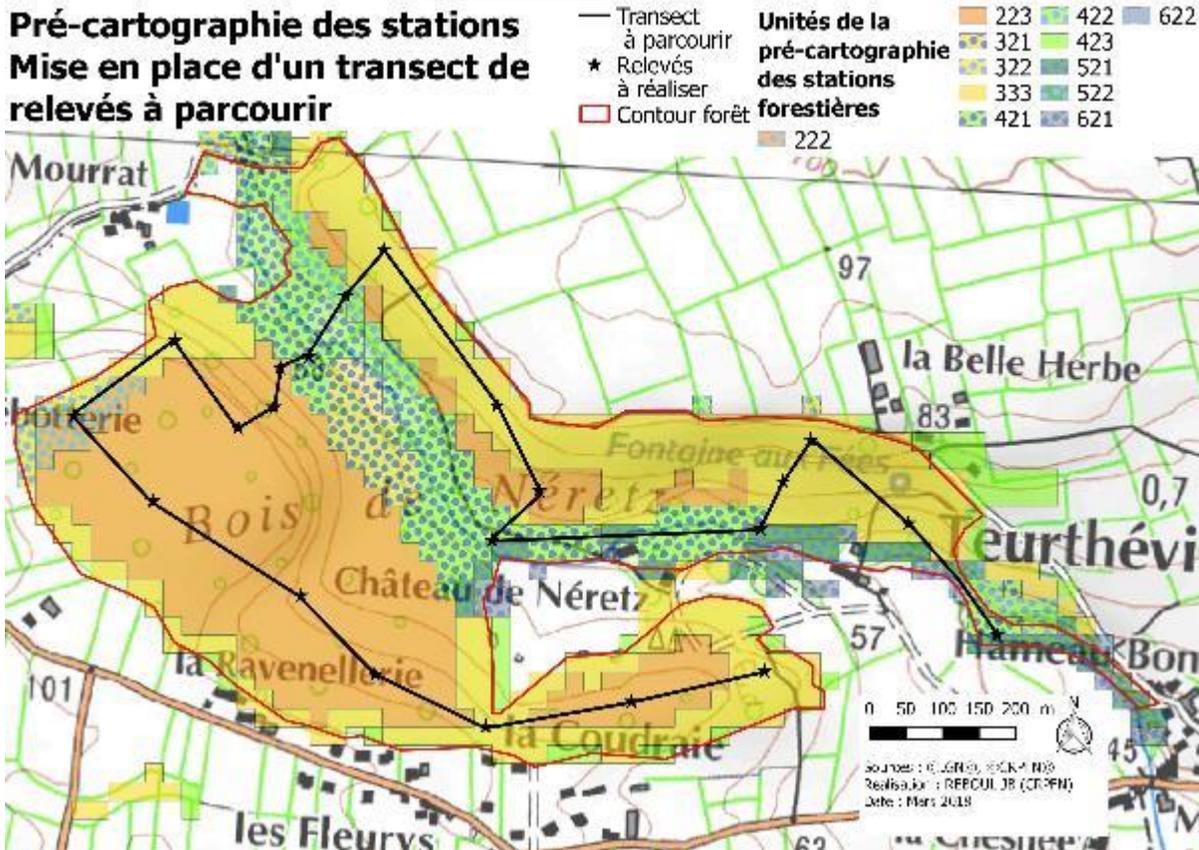
II) Spatialisation des données stationnelles : historique, présent et futur

III) Utilisation pratique de la pré-cartographie des stations forestières



Objectifs du projet

Pré-cartographie des stations Mise en place d'un transect de relevés à parcourir

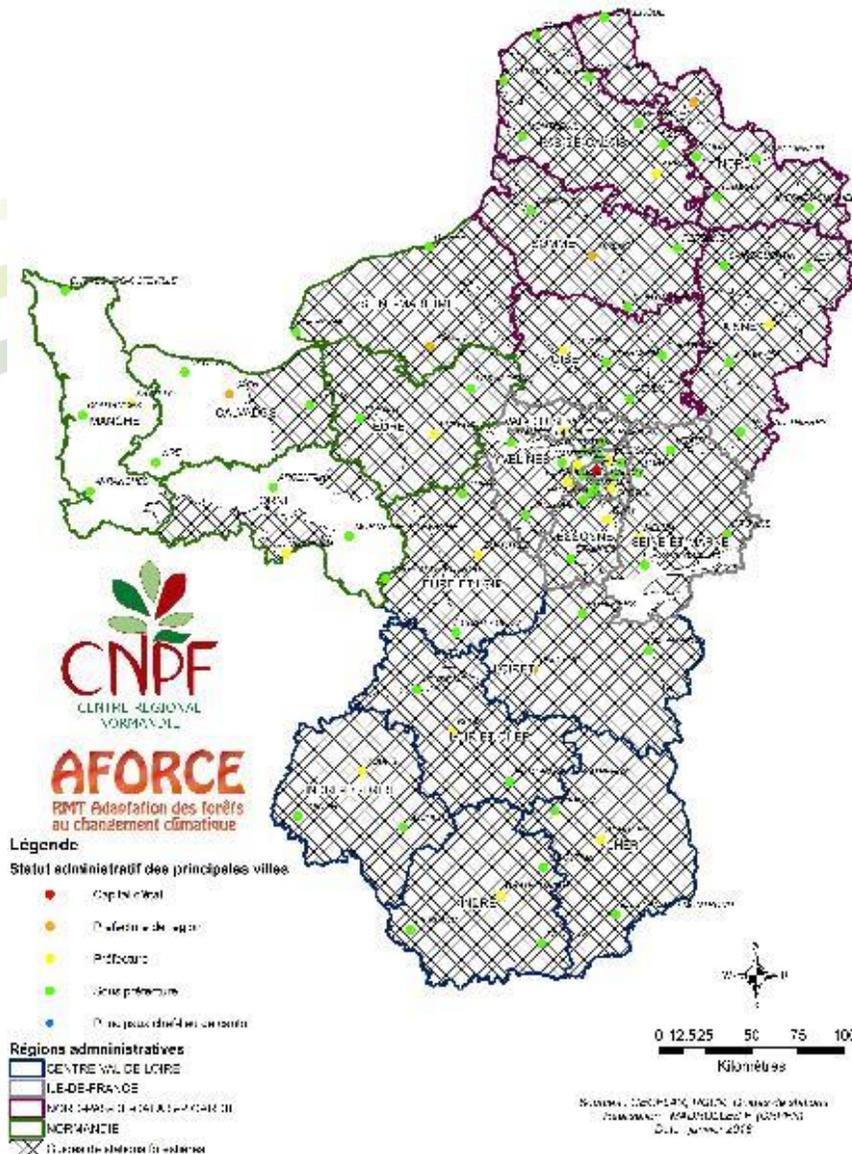


- **Peu ou pas de cartes de stations forestières en forêt privée**
- Pré-cartographie des stations forestières = Faciliter la cartographie des stations forestières
- Reprendre et améliorer la méthodologie de mise en place de pré-cartographie des stations forestières (Vosges, Normandie)
- Identifier les étapes clés de la mise en place d'une pré-cartographie des stations
- Améliorations possibles et reproductibilité dans d'autres régions ?

Fournir au gestionnaire un outil pour « simplifier » la démarche de réalisation d'une carte des stations forestières

Objectifs du projet

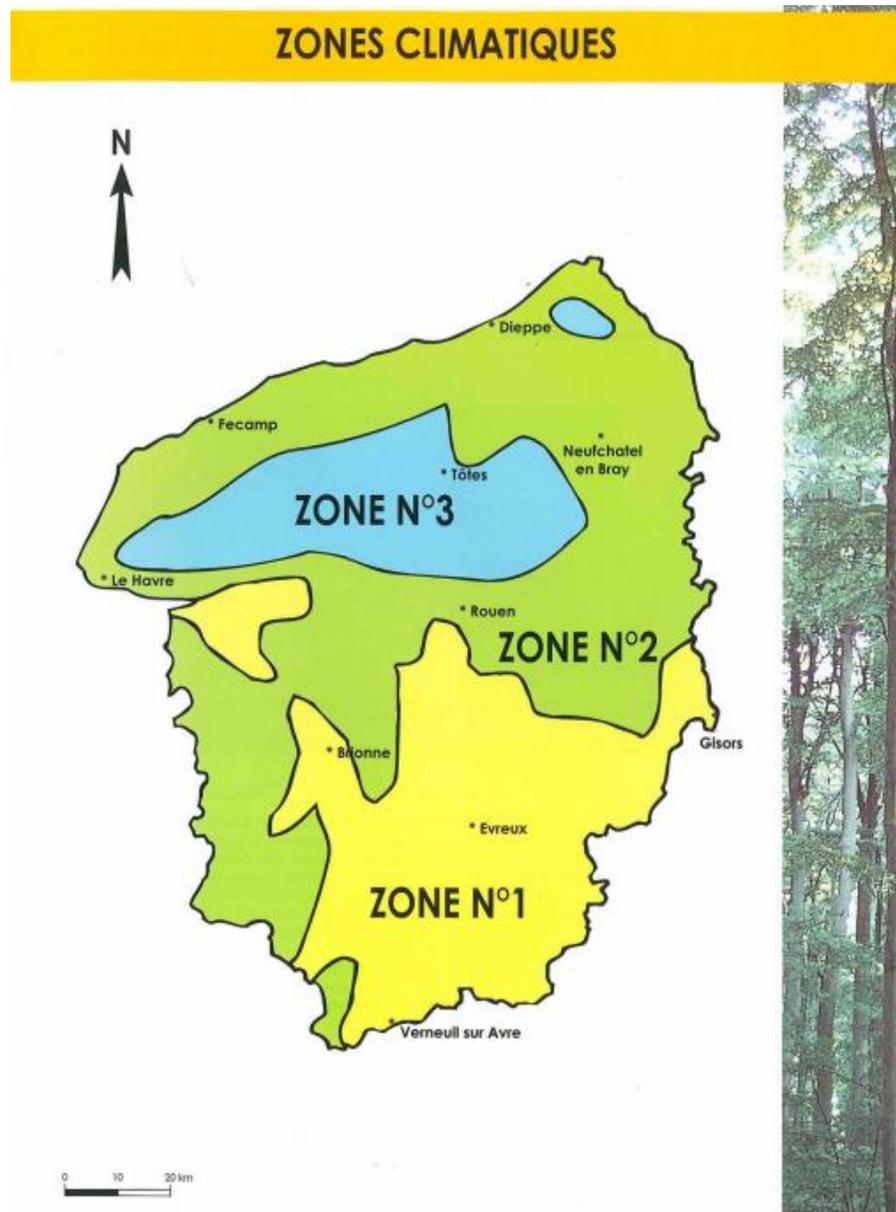
Couverture en guides de stations forestières



Des régions couvertes (+ Normandie récemment couverte) par des guides de choix des essences, dans lesquelles on souhaite initier la mise en place de cartes de stations forestières

- Des outils pourtant existants pour réaliser des diagnostics complets
- Pré-cartographie des stations forestières = Faciliter la cartographie des stations forestières
- Fiabilité de la pré-cartographie
- Identifier les différentes limites possibles
- Faire lien avec les guides de choix des essences existants
- Notices d'utilisation

Objectifs du projet

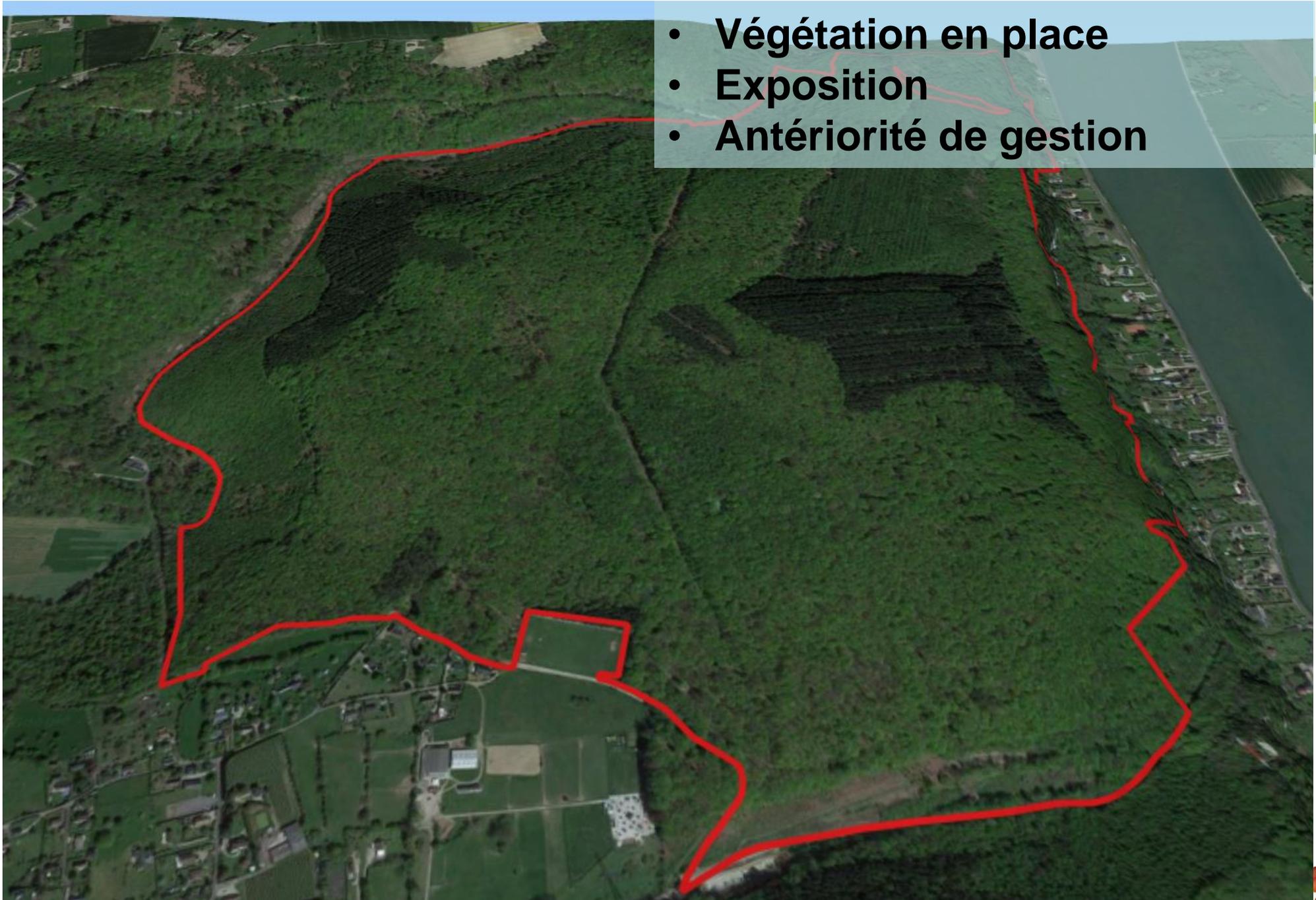


- **Mise en place d'un zonage climatique du quart Nord-Ouest = cohérence du conseil du choix des essences dans les guides actuels**
- Connaître la variabilité climatique du territoire d'étude
- Cohérence du choix des essences en fonction de ce découpage
- Quelle évolution de ce zonage climatique en fonction de ces scénarios et des différents modèles ?
- *Comment le traduire dans le conseil de choix des essences ?*

*Travaux dans les années 90 en Normandie sur un zonage climatique à partir de l'indice de l'IPB = racine ($ETR * (ETR - D)$) (travaux de Houzard)*

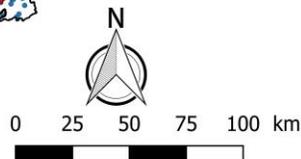
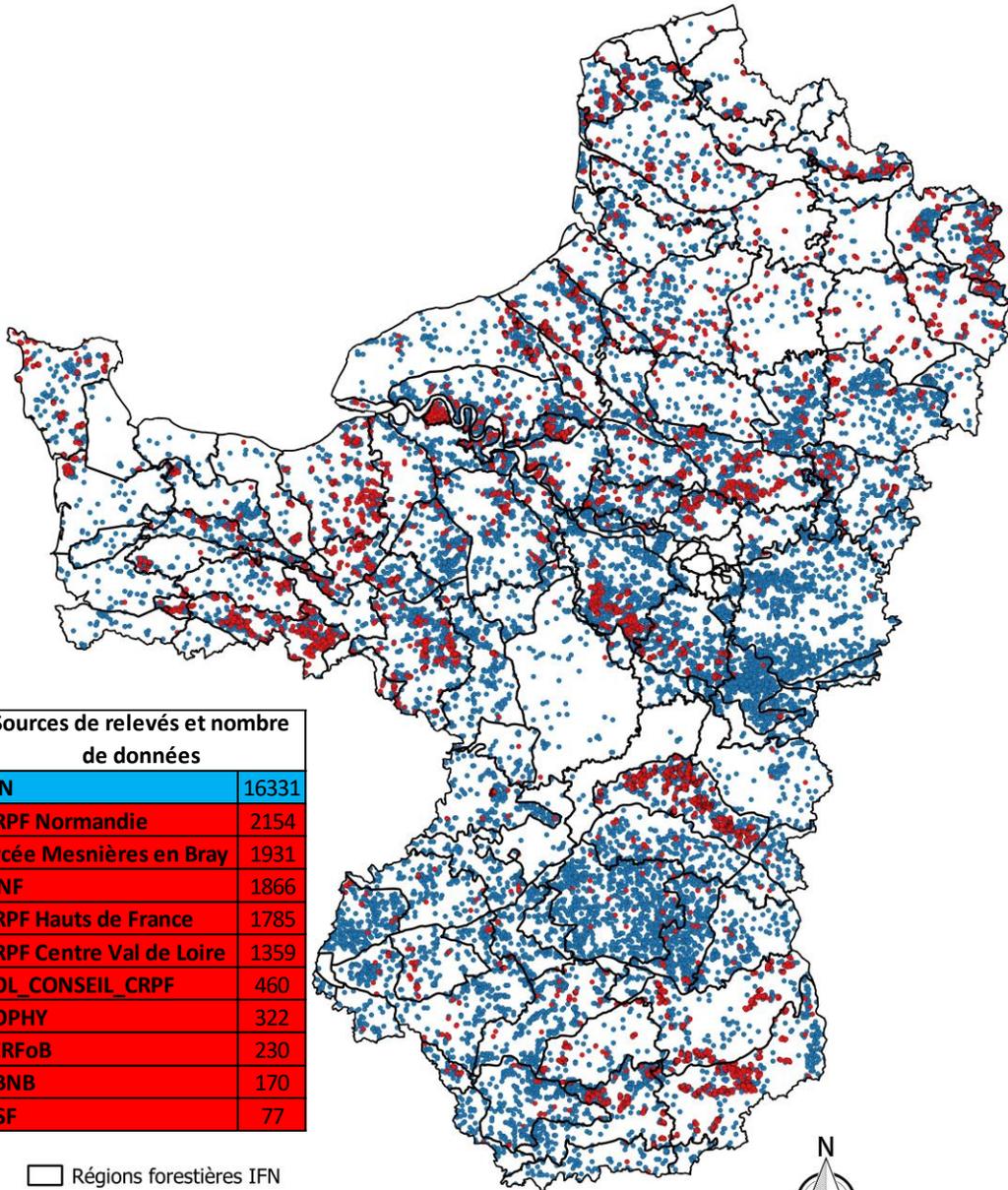
1) Une répartition logique des stations dans l'espace

- Végétation en place
- Exposition
- Antériorité de gestion



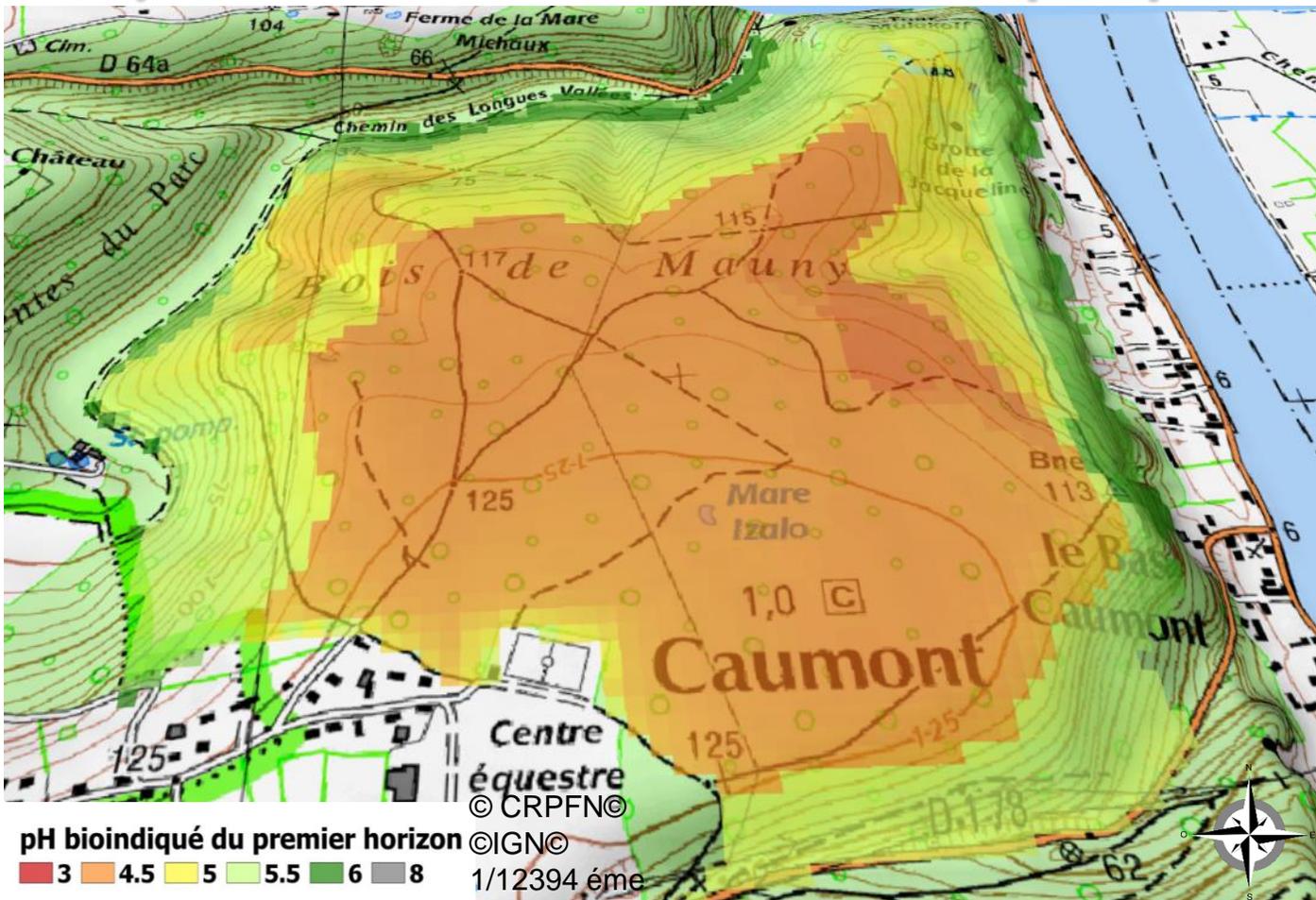
1) Principes de la construction de la pré-cartographie des stations

Localisation des relevés de calibration et de validation de la pré-cartographie des stations forestières



- Anticiper dans l'espace les stations potentielles et leurs variations
- Modélisation et spatialisation :
 - ✓ Niveau trophique (pH de l'horizon A)
 - ✓ Réserve utile maximale en eau sur 90 cm
 - ✓ Niveau d'hydromorphie (probabilité d'avoir une hydromorphie marquée à différentes profondeurs)
- Classification des **modèles** bruts et croisement des cartes des 3 variables reclassifiées = **pré-cartographie des stations**
- Importance d'avoir des **relevés stations localisés** !
- Améliorations à terme de la pré-cartographie des stations forestières

1) Modélisation du niveau trophique



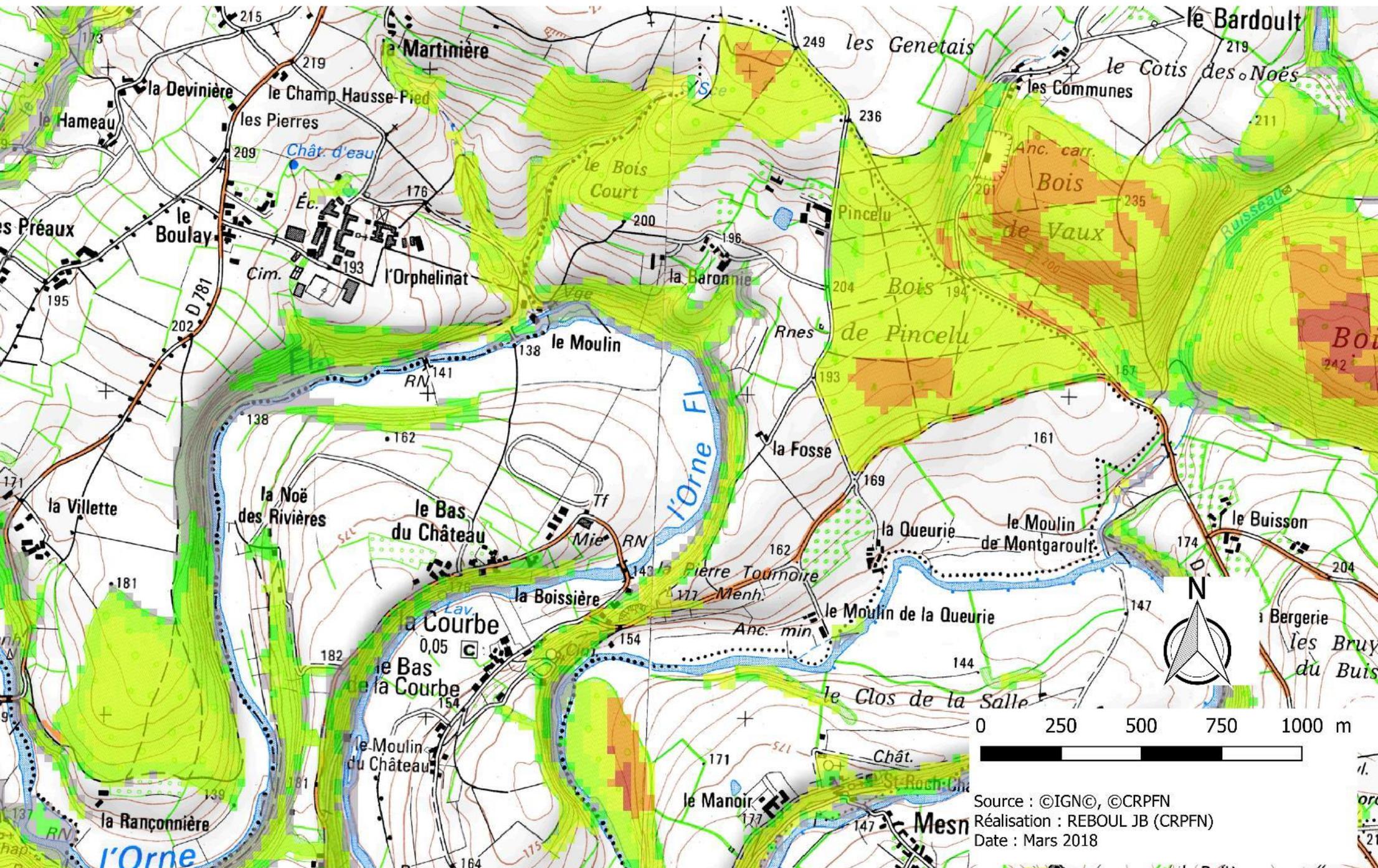
Variables	Terme / Modalités	Coefficients
Constante		6,12879
Classification de la géologie en 7 classes	]3,0-4,0]	0,00000
	]4,0-4,5]	0,21016
	]4,5-5,0]	0,42565
	]5,0-5,5]	0,70617
	]5,5-6,0]	1,04267
	]6,0-6,5]	1,49415
	]6,5-7,5]	1,78920
Distance à la bordure forestière	$\ln(X + 1)$	-0,17520
Précipitations du mois de Janvier	simple	-0,00858
Topographie (Indice de dénivelé = $Z_{max} - Z$ sur un rayon de 150 m)	simple	0,00738
Peuplement	couvert non forestier ou indéterminé	0,00000
	futaie feuillue	-0,17786
	futaie mixte	-0,33660
	futaie résineuse autre	-0,44983
	futaie de pin ou épicéa	-0,69766
	taillis sous futaie feuillue	-0,12439
	taillis sous futaie résineuse	-0,43272
	taillis	-0,09301
Sylvoécocorégion	A11 Ouest-Bretagne et Nord-Cotentin	0,00000
	Bocage normand et Pays de	
	A13 Fougères	-0,20648
	B10 Côtes et plateaux de la Manche	0,11989
	Campagne de Caen et Pays	
	B31 d'Auge	-0,13811
B32 Plateaux de l'Eure	-0,24255	
B33 Perche	-0,16052	

		Observations du jeu de validation						Total	Taux
		Très acide	Acide	Assez acide	Faiblement acide	Neutre	Calcique à calcaire		
Prédictions du jeu de validation	Très acide	127	163	56	9	5	1	361	35%
	Acide	64	133	129	48	19	8	401	33%
	Assez acide	44	103	169	225	108	44	693	24%
	Faiblement acide	6	24	41	108	106	53	338	32%
	Neutre	0	8	9	47	62	59	185	34%
	Calcique à calcaire	0	3	8	56	117	142	326	44%
	Total	241	434	412	493	417	307	2304	
	Taux	52,7%	30,6%	41,0%	21,9%	14,9%	46,3%		32%

Un taux de bon reclassement élargi de ± 1 niveau trophique de 78 % !

Niveaux trophiques issus du modèle pH

Exemple dans les boucles de l'Orne

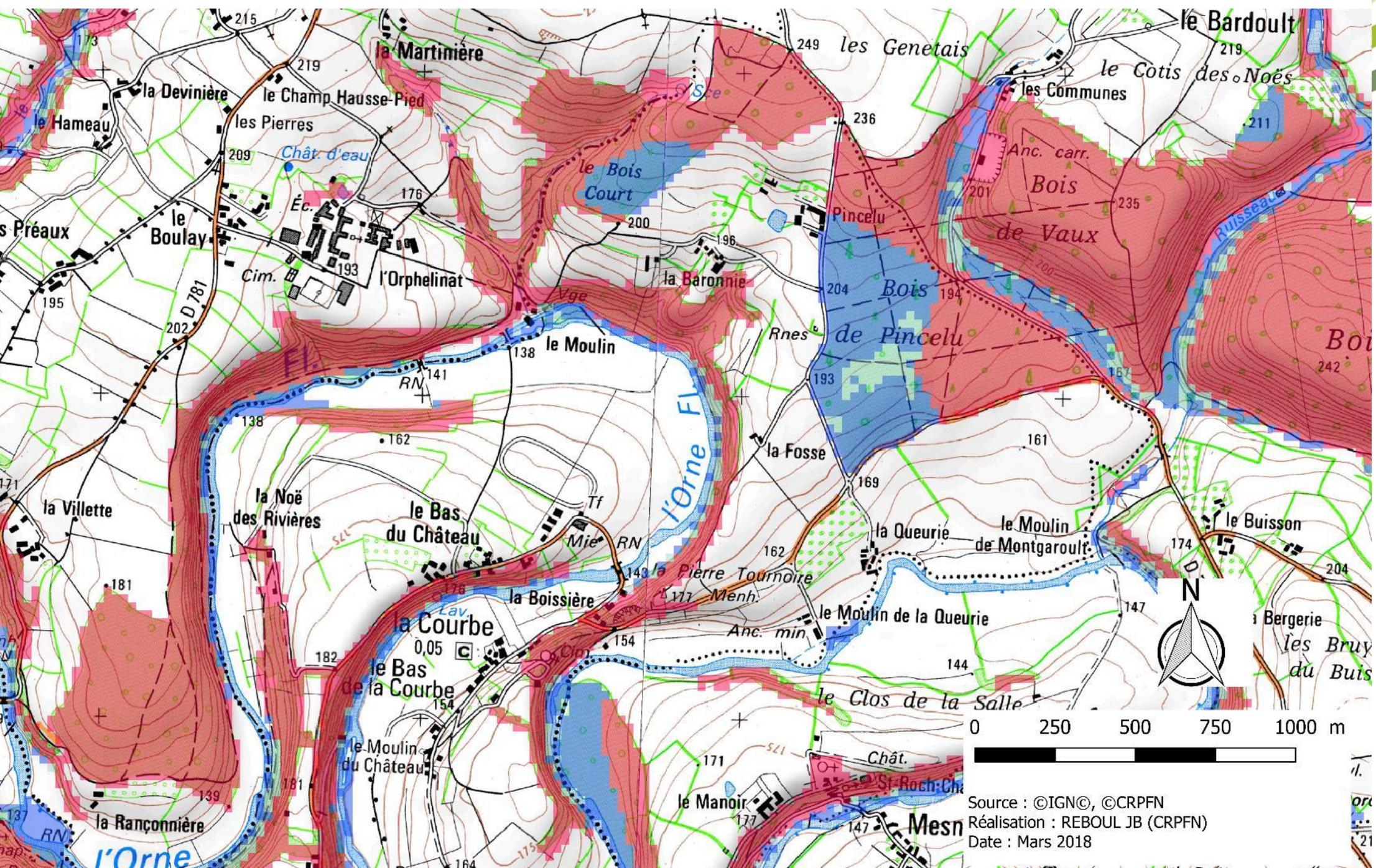


Source : ©IGN©, ©CRPFN
Réalisation : REBOUL JB (CRPFN)
Date : Mars 2018

Niveaux d'hydromorphie issus du modèle sur la probabilité d'avoir une hydromorphie marquée à une profondeur donnée

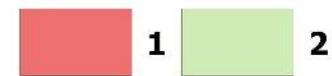


Exemple dans les boucles de l'Orne

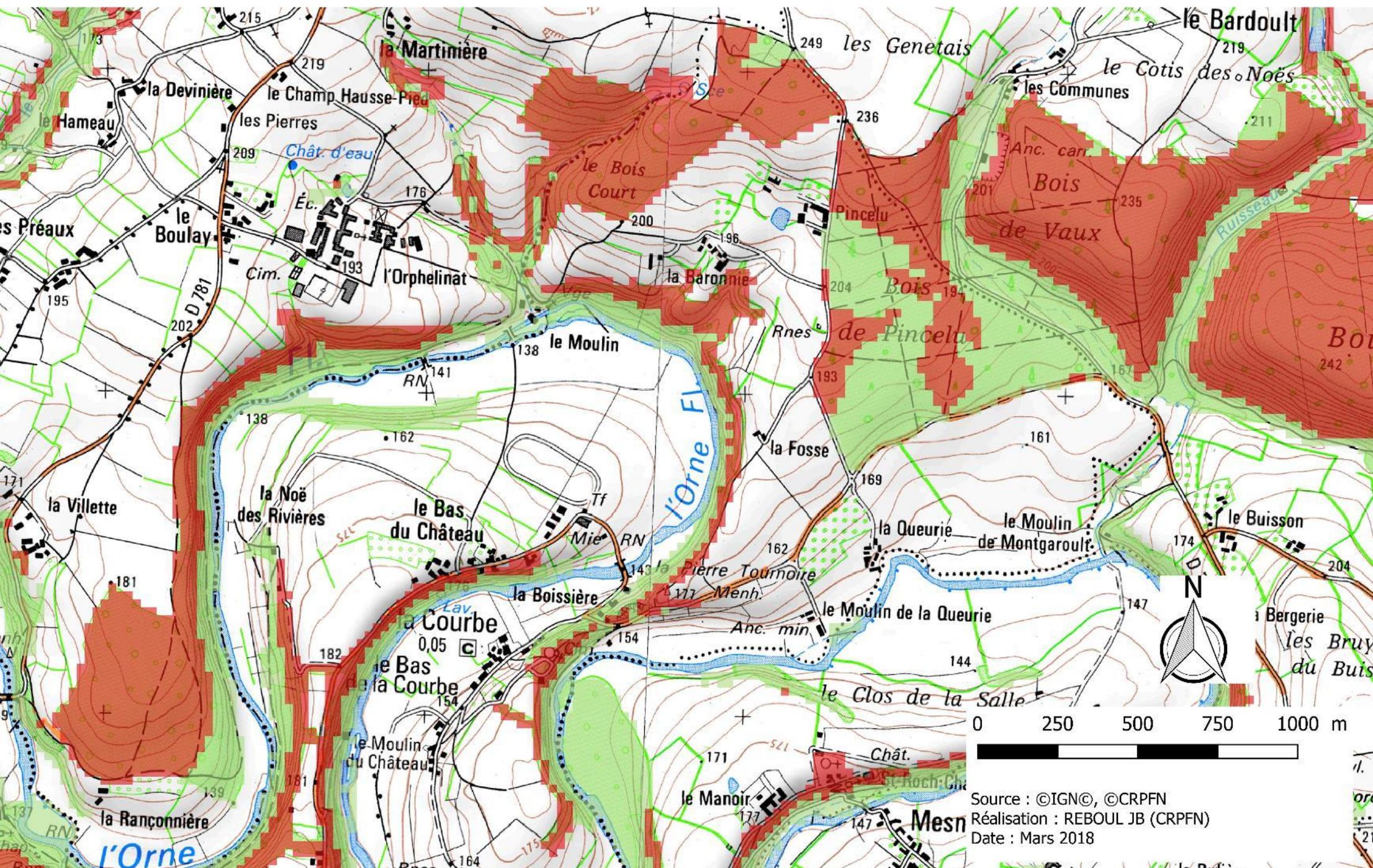


Source : ©IGN©, ©CRPFN
Réalisation : REBOUL JB (CRPFN)
Date : Mars 2018

Niveaux de réserve en eau superficielle issus du modèle brut RUM

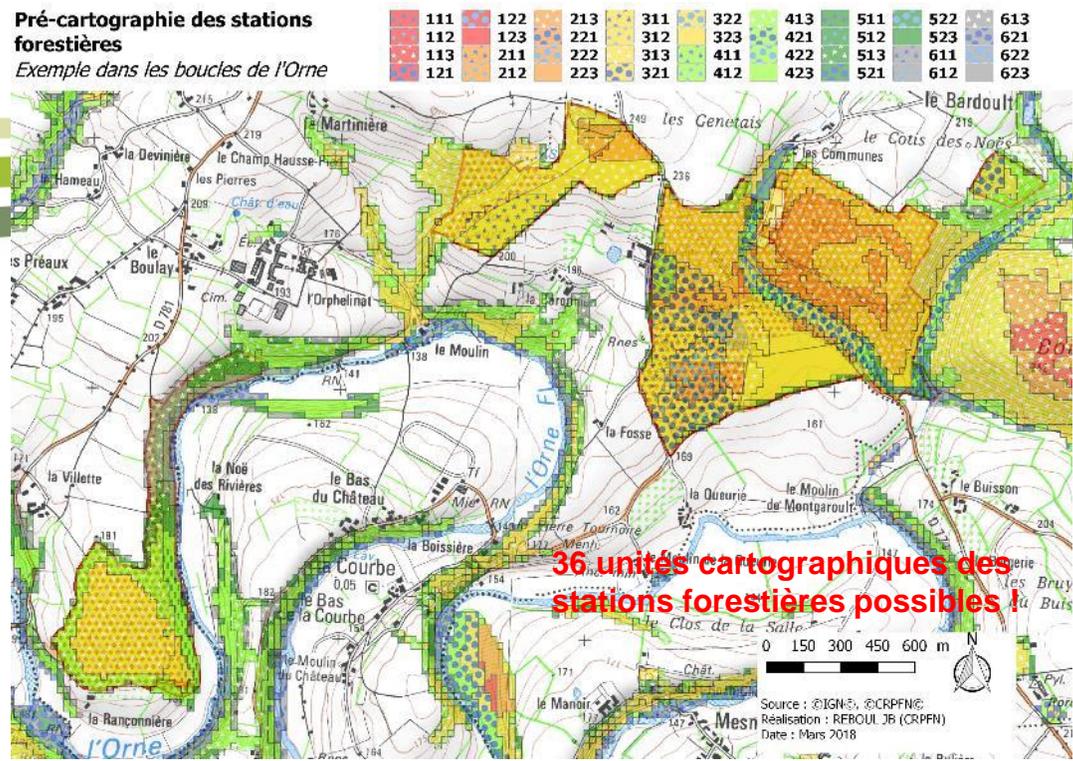
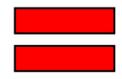
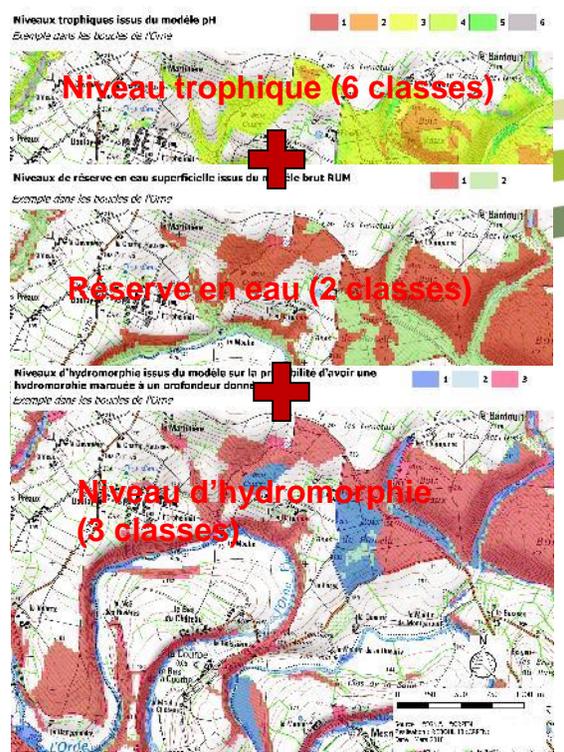


Exemple dans les boucles de l'Orne



Source : ©IGN©, ©CRPFN
Réalisation : REBOUL JB (CRPFN)
Date : Mars 2018

1) La pré-cartographie des stations une résultante de ces 3 modèles reclassifiés

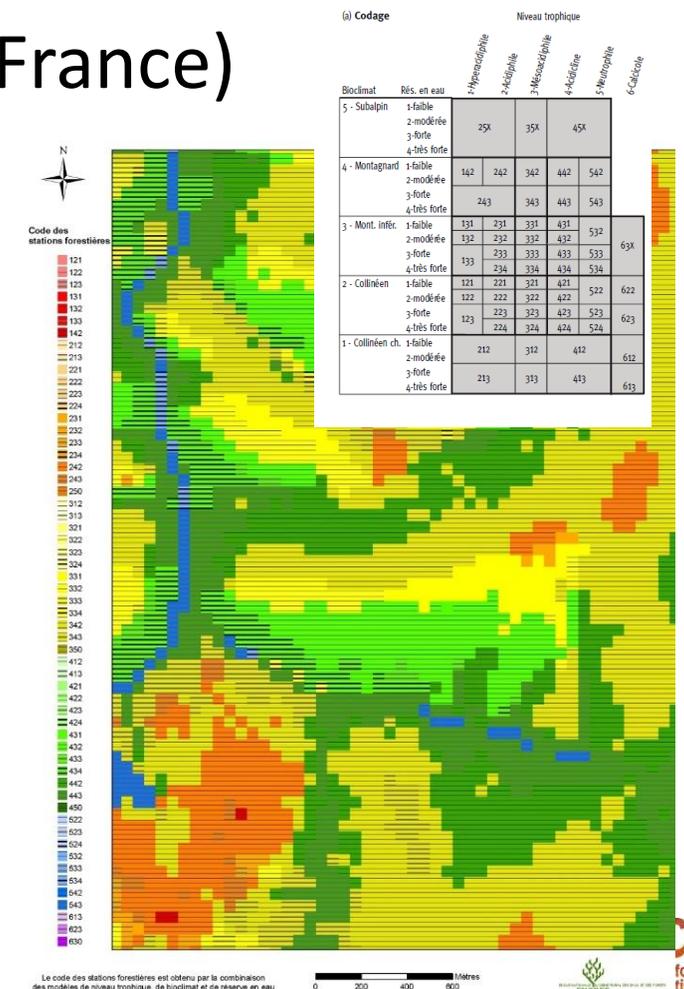


La pré-cartographie une résultante de ces 3 variables					
Niveau trophique		Réserve utile maximale en eau superficielle		Niveau d'hydromorphie	
1	Très acide	1	Faible	1	Hydromorphie marquée dans les 30 premiers cm
2	Acide				
3	Assez acide				
4	Peu acide	2	Moyenne à très bonne	2	Hydromorphie marquée entre 30 et 50 cm de profondeur
5	Neutre				
6	Calcique				
				3	Hydromorphie marquée après 50 cm de profondeur ou sol sain

2) Données spatialisées utilisables pour le forestier

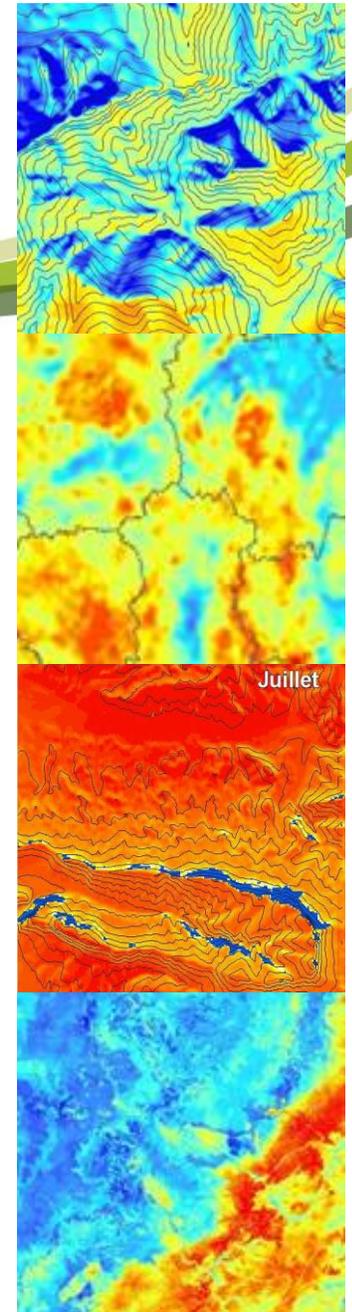
Petit historique en France

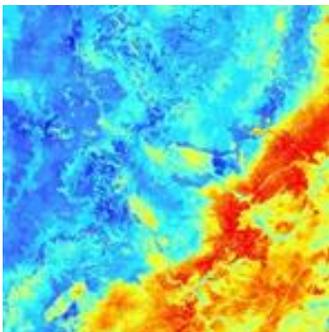
- Années 1980 : premiers travaux concernant le climat (ex: modèle Aurelhy Météo France)
- Vers an 2000: cartes numériques des propriétés des sols
- Suites tempête 1999 besoins reboisement: carte numérique des stations Vosges 2002 (gradients hydriques, trophiques, bioclimatiques)
- Depuis de nombreux développements: GIS sol, INRA, CNPF, SILVA ...



2) Données spatiales concernées

- Thématiques :
 - Données climatiques : Temp, Prec, ETP, bilan en eau, évolutions du climat, ...
 - Propriétés des sol: textures, nutrition, engorgement, DA, profondeur, réservoir en eau ...
- Synthétiques: « stations »
- Dérivées: cartes prédictives de distribution, productivité, état de santé des arbres ...





2) Réalisation de cartes numériques : principes généraux

*Quantité de données
Type d'échantillonnage,
Exactitude,
Précision de la donnée*



Données ponctuelles

- Mesures (T° C)
- Estimations de terrain (profondeur)
- Proxies (FPT, bioindication, ...)

Données spatiales

*Incertitude liée à la
distribution du jeu
de données et à la
méthode*



Spatialisation

- Calcul
- Interpolation
- Modélisation

*Caractérisées par une
exactitude, résolution, une
gamme d'usage et d'échelles*



Données spatiales

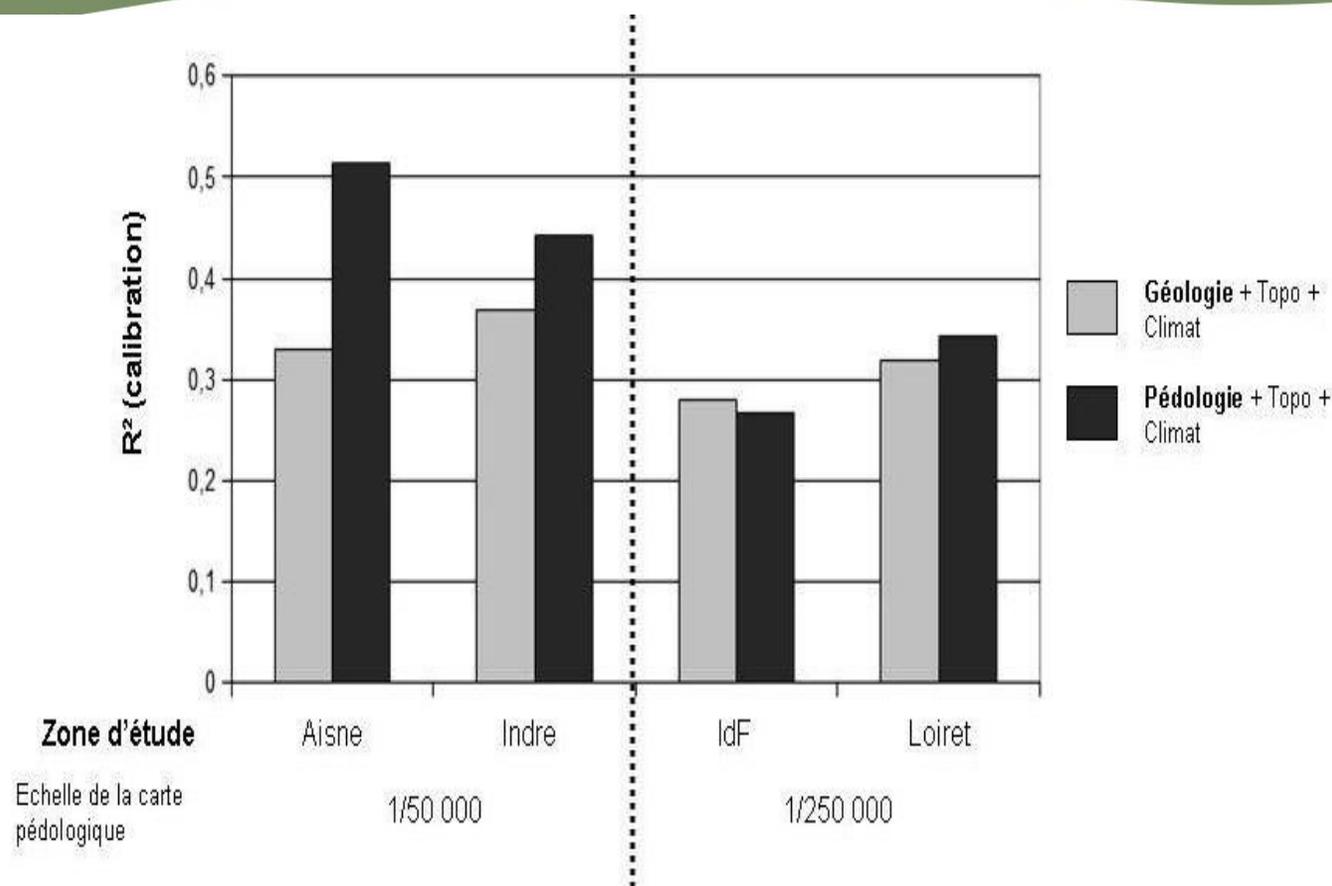


2) Principales perspectives d'amélioration

	Sol	Climat
Données ponctuelles	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation effectifs (unités faible effectifs) (ex:relevés IFN, 6-700 placettes en +/-an)• Amélioration jeu données intrant (ex: mesure/bioindic.)	<ul style="list-style-type: none">• Homogénéisation des séries• Prise en compte des effets liés à la topographie
Données spatiales	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilité des cartes géologiques vectorisées BRGM (prise en compte unités superficielles)• MNT + fins (écoulements)• Disponibilité des cartes de sol numériques• Disponibilité de l'occupation ancienne des sols	
Méthodes	<ul style="list-style-type: none">• Méthode de spatialisation• Choix de la résolution/ Amélioration de la pertinence locale• Mise à jour automatisée/Utilisation des données existantes	

2) Utilisation de cartes des sols numériques

Exemple du pH de l'horizon A



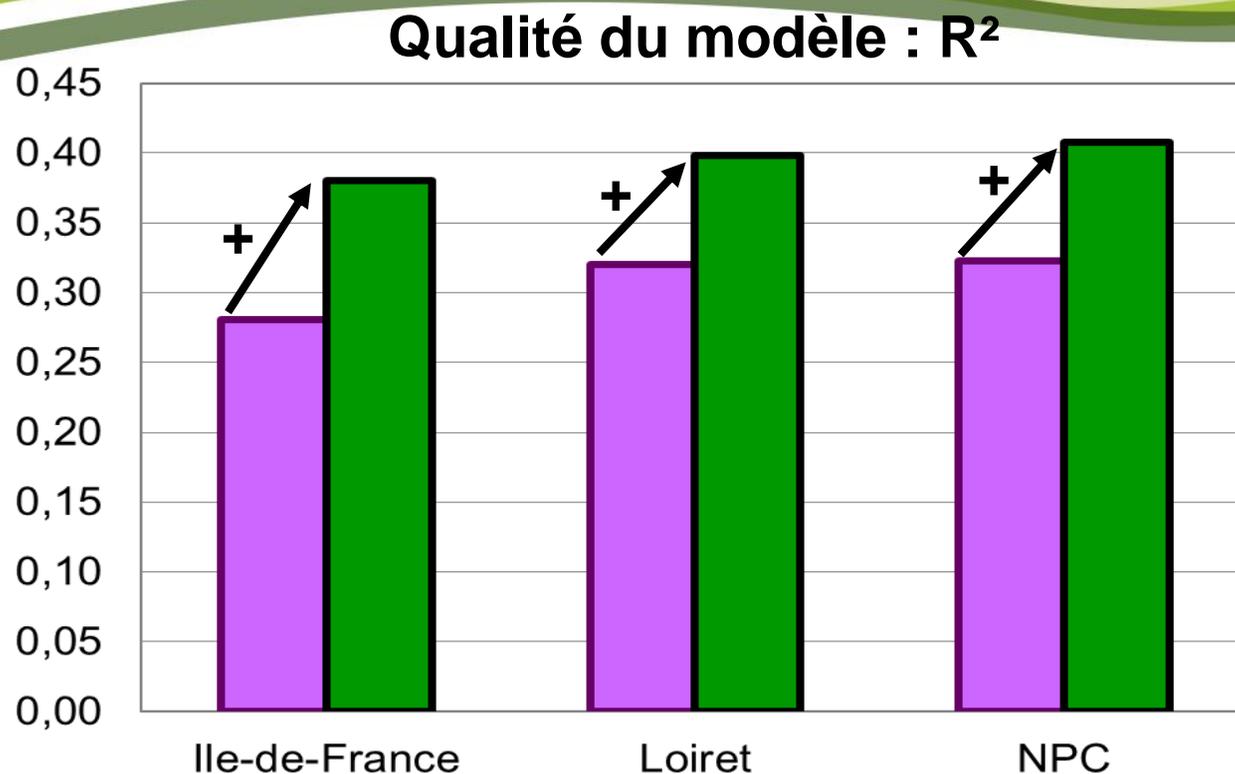
- Les cartes numériques des sols 1/25000 eme améliorent les performances /géol
- Pas les cartes au 1/125000 eme

2) Principales perspectives d'amélioration

	Sol	Climat
Données ponctuelles	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation effectifs (unités faible effectifs) (ex: relevés IFN, 6-700 placettes en +/- an)• Amélioration jeu données intrant (ex: mesure/bioindic.)	<ul style="list-style-type: none">• Homogénéisation des séries• Prise en compte des effets liés à la topographie
Données spatiales	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilité des cartes géologiques vectorisées BRGM (prise en compte unités superficielles)• MNT + fins (écoulements)• Disponibilité des cartes de sol numériques• Disponibilité de l'occupation ancienne des sols	
Méthodes	<ul style="list-style-type: none">• Méthode de spatialisation• Choix de la résolution/ Amélioration de la pertinence locale• Mise à jour automatisée/ Utilisation des données existantes	

2) Prise en compte de l'ancienneté des forêts

Exemple du pH de l'horizon A



Forêt ancienne:

Une zone qui est restée forestière entre la carte de l'Etat Major (1830) et la carte de l'IFN 2009

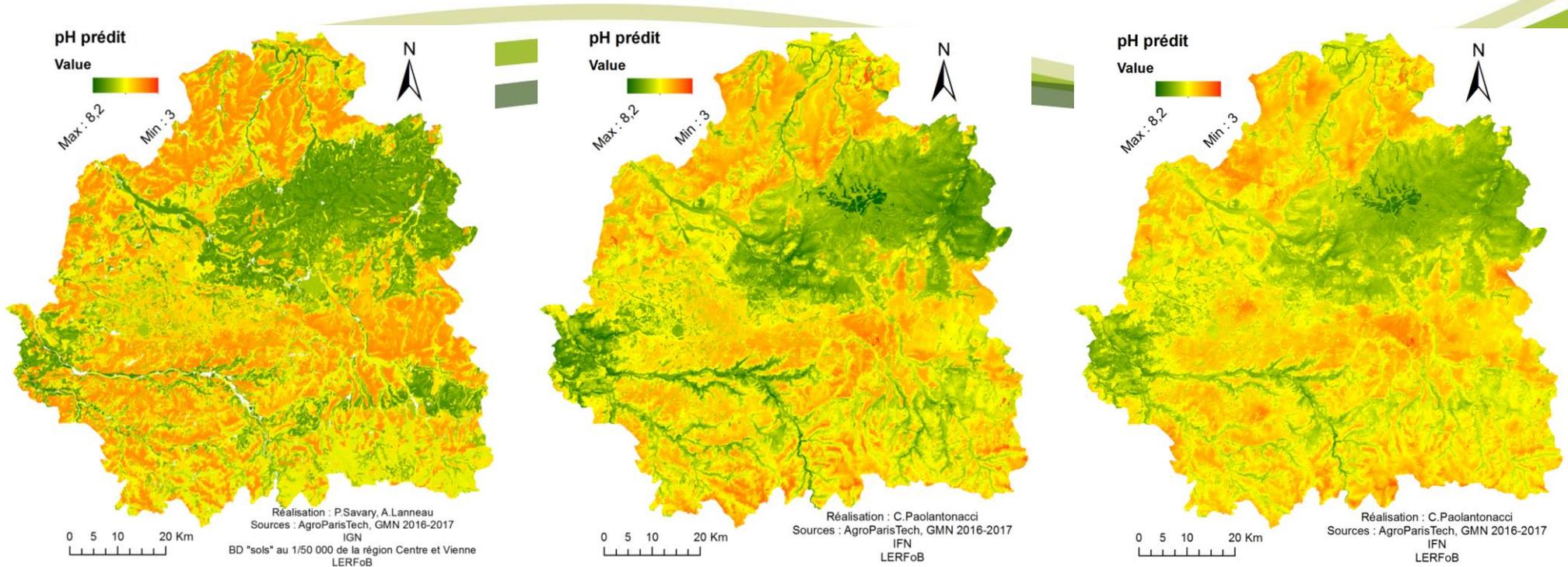
➤ *Amélioration sur les 3 sites étudiés*

2) Principales perspectives d'amélioration

	Sol	Climat
Données ponctuelles	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation effectifs (unités faible effectifs) (ex:relevés IFN, 6-700 placettes en +/-an)• Amélioration jeu données intrant (ex: mesure/bioindic.)	<ul style="list-style-type: none">• Homogénéisation des séries• Prise en compte des effets liés à la topographie
Données spatiales	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilité des cartes géologiques vectorisées BRGM (prise en compte unités superficielles)• MNT + fins (écoulements)• Disponibilité des cartes de sol numériques• Disponibilité de l'occupation ancienne des sols	
Méthodes	<ul style="list-style-type: none">• Méthode de spatialisation• Choix de la résolution/ Amélioration de la pertinence locale• Mise à jour automatisée/Utilisation des données existantes	

2) Effet de la méthode de spatialisation

Exemple du pH de l'horizon A



Cartes prédictives du pH des sols forestiers sur l'Indre, à une résolution de 25m, selon différentes méthodes de spatialisation.

Géomorphopédologie

MAE = 0,64

Modélisation

MAE = 0,59

Méthode hybride
modélisation/krigeage

MAE = 0,52

➤ un effet significatif de la méthode de spatialisation sur la performance de la carte

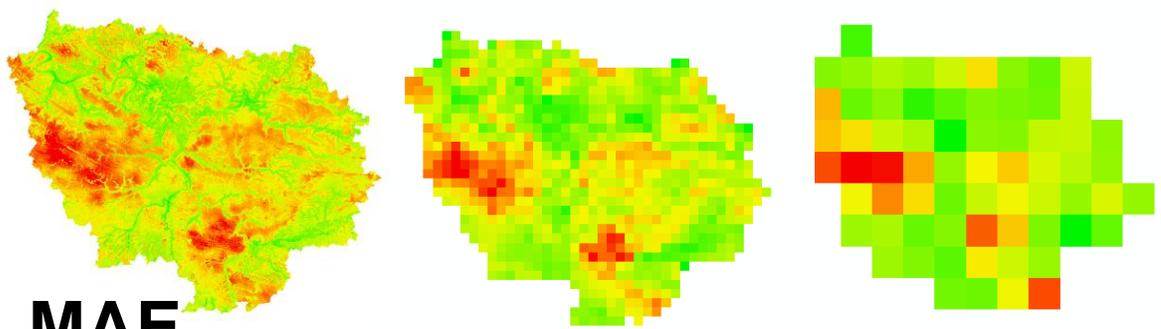
2) Principales perspectives d'amélioration

	Sol	Climat
Données ponctuelles	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation effectifs (unités faible effectifs) (ex: relevés IFN, 6-700 placettes en +/-an)• Amélioration jeu données intrant (ex: mesure/bioindic.)	<ul style="list-style-type: none">• Homogénéisation des séries• Prise en compte des effets liés à la topographie
Données spatiales	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilité des cartes géologiques vectorisées BRGM (prise en compte unités superficielles)• MNT + fins (écoulements)• Disponibilité des cartes de sol numériques• Disponibilité de l'occupation ancienne des sols	
Méthodes	<ul style="list-style-type: none">• Méthode de spatialisation• Choix de la résolution/ Amélioration de la pertinence locale• Mise à jour automatisée/Utilisation des données existantes	

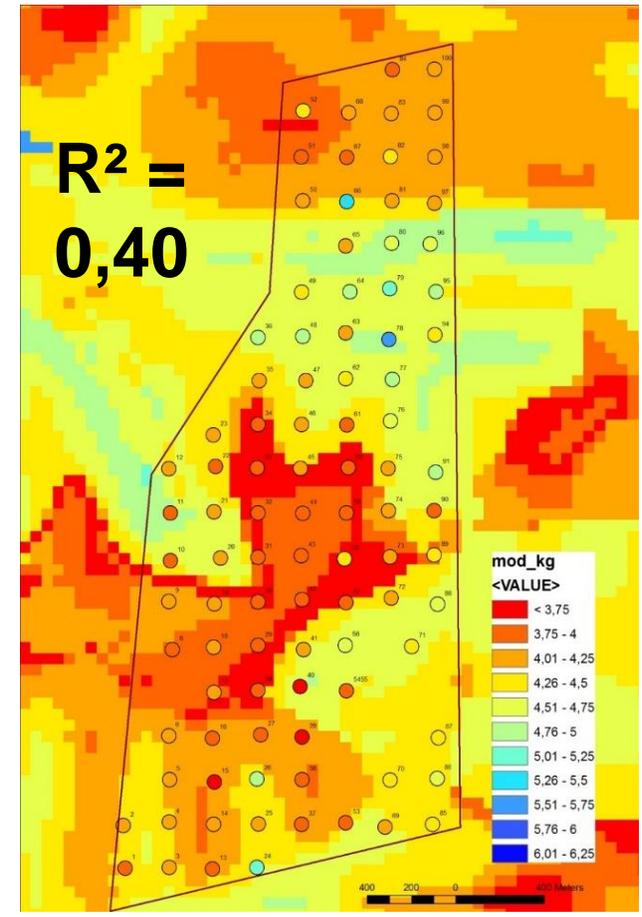
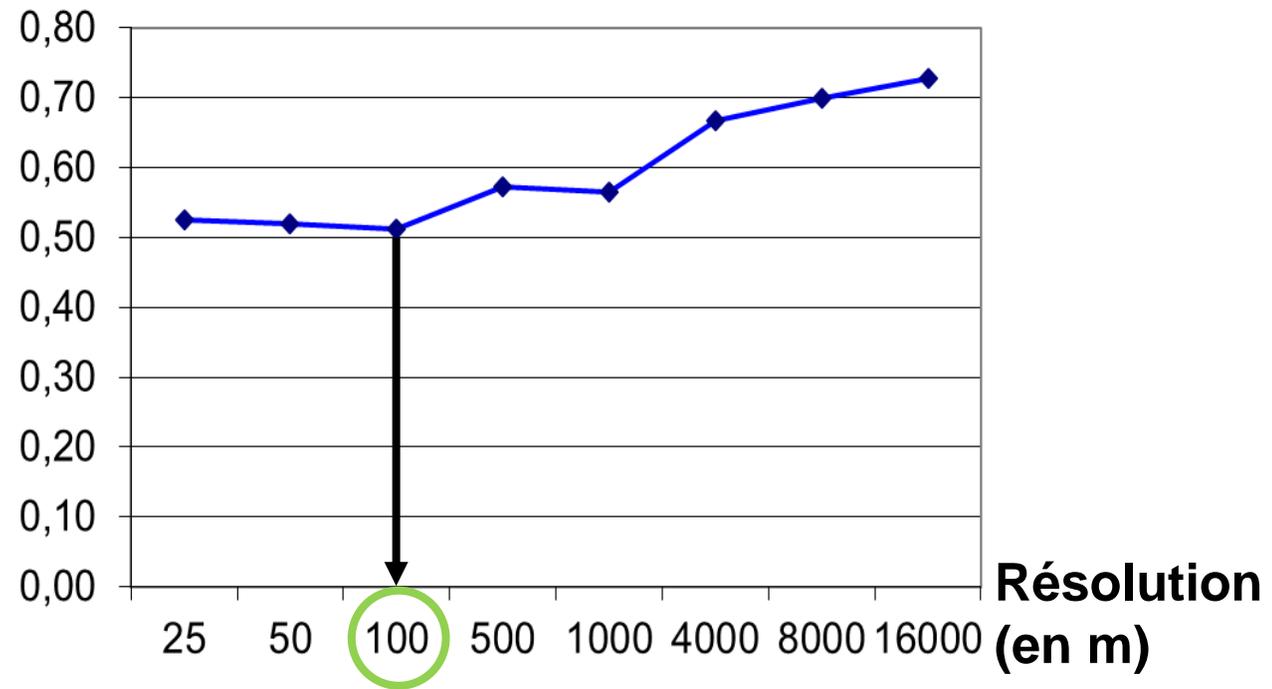
2) Résolution spatiale et pertinence locale

Exemple de l'Ile-de-France

Exemple de Rupt sur Moselle



MAE

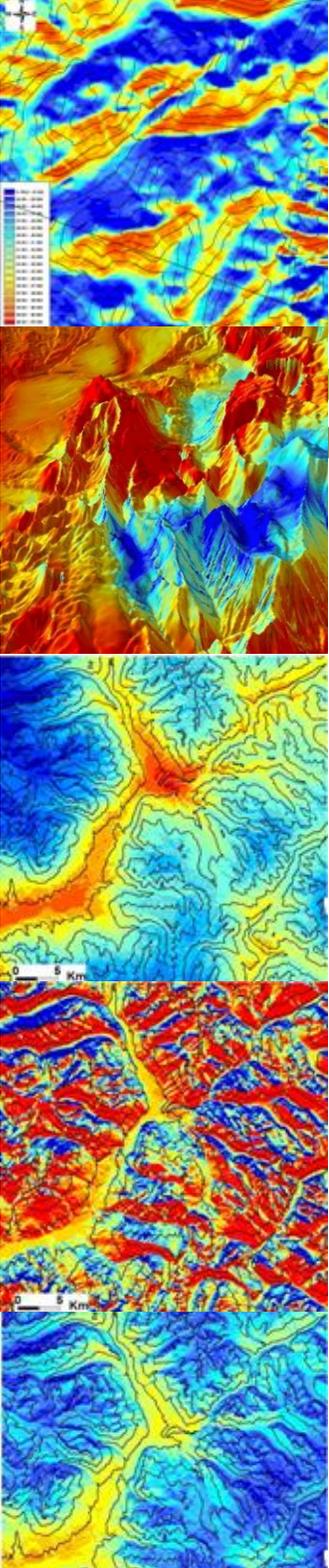


Source : AgroParisTech GMN

2) Principales perspectives d'amélioration

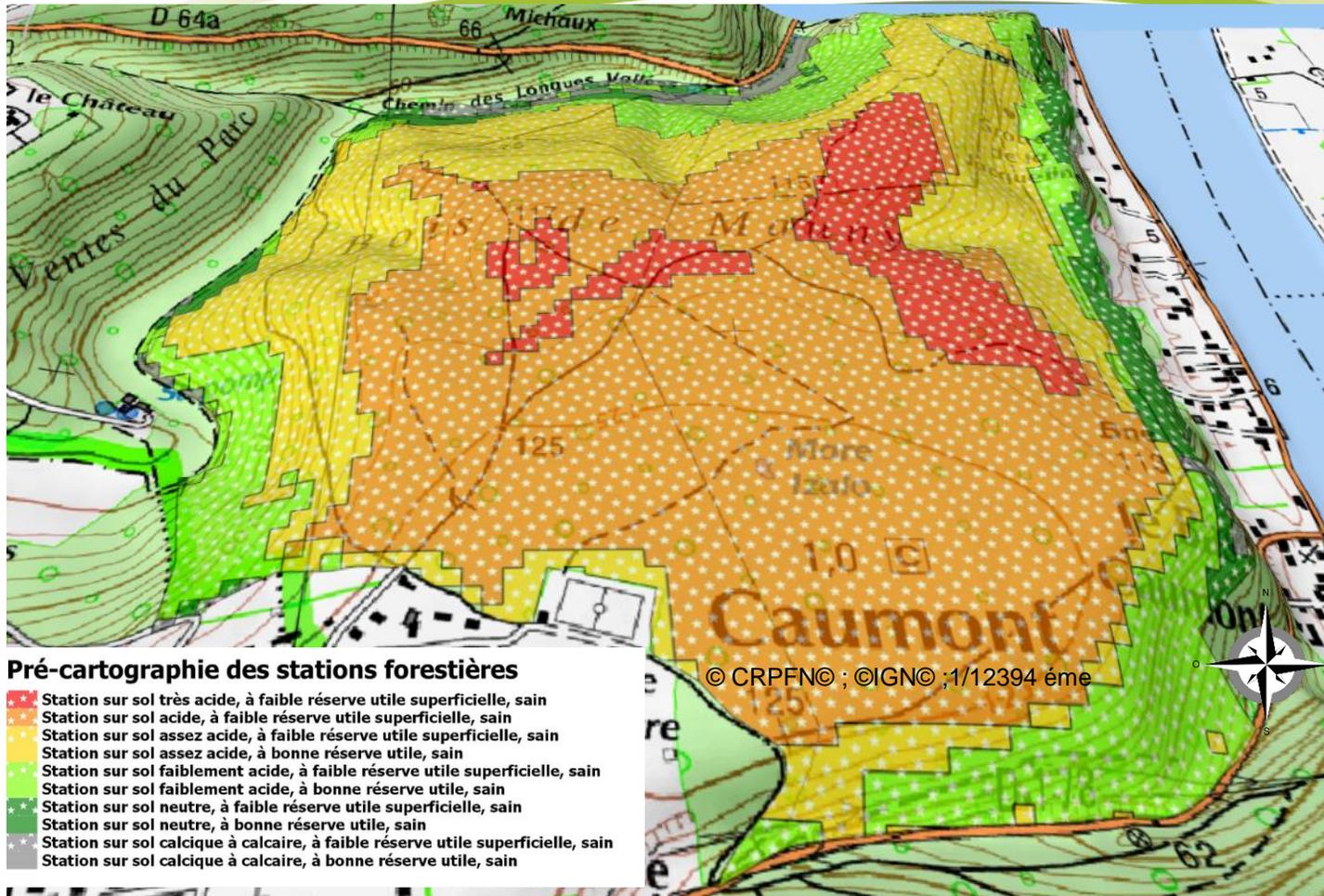
	Sol	Climat
Données ponctuelles	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation (unités faible effectifs) (ex:relevés IFN, 6-700 placettes en +/-an)• Amélioration jeu données intrant (ex: mesure/bioindic.)	<ul style="list-style-type: none">• Homogénéisation des séries• Prise en compte des effets de la topographie
Données spatiales	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilité des cartes géologiques vectorisées BRGM (amélioration prise en compte unités superficielles)• MNT + fins (écoulements)• Disponibilité des cartes de sol numériques• Disponibilité de l'occupation ancienne des sols	
Méthodes	<ul style="list-style-type: none">• Méthode de spatialisation• Choix de la résolution/ Amélioration de la pertinence locale• Mise à jour automatisée/Utilisation des données existantes	

2) Conclusions



- Cartes numériques permettent de revisiter l'approche stationnelle et de mieux prendre en compte le climat
- Manque de connaissance concernant l'impact des données/méthodes pour améliorer la qualité locale des prédictions
- Méthodes pour bien combiner données sol/climat/choix des essences sont à réfléchir
- Intégration du changement climat dans ces outils doit être améliorée

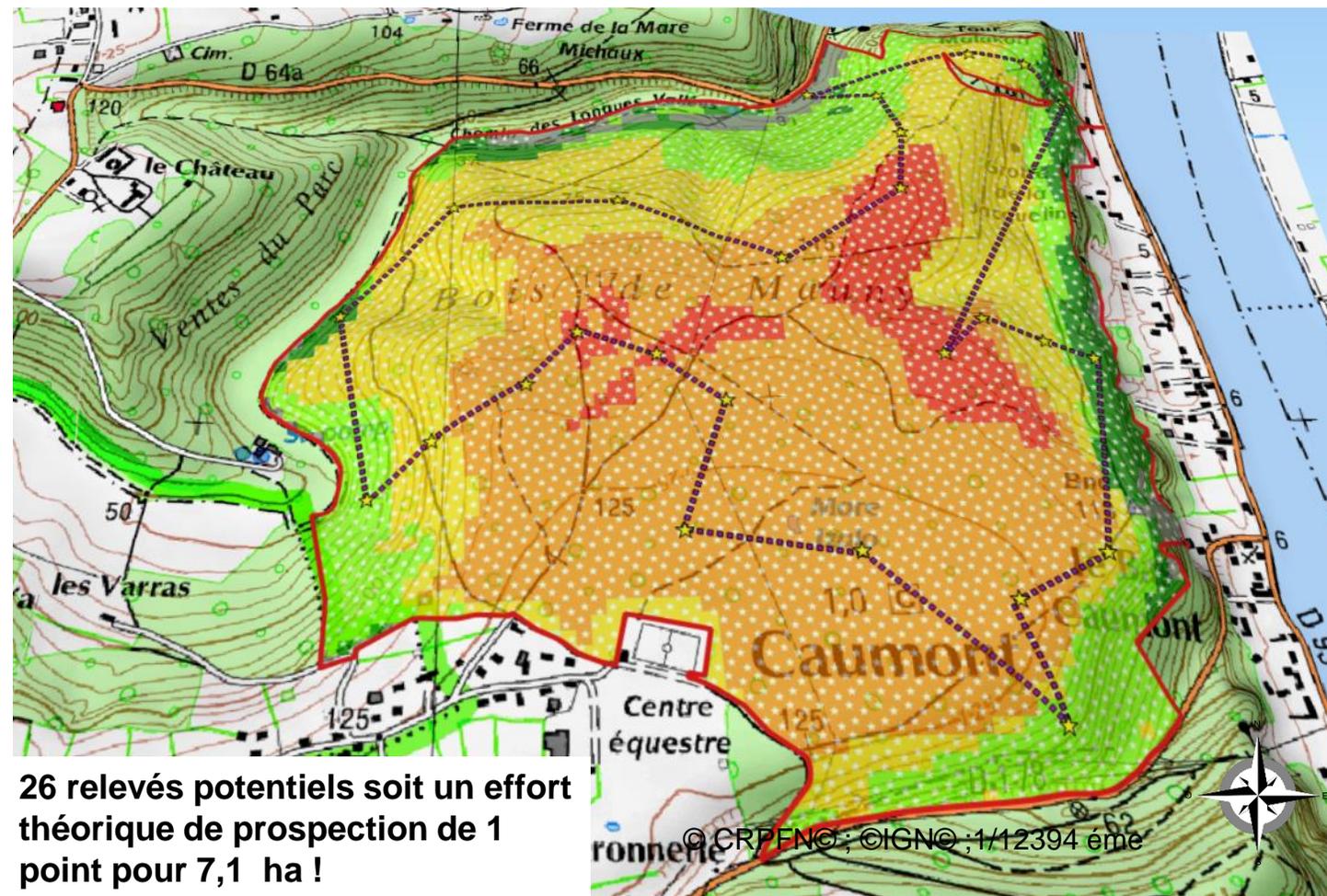
3) La pré-cartographie ne vaut pas carte définitive des stations forestières !



- **Cumulation des erreurs** des 3 modèles
- Mauvaise interprétation (erreur de reclassement de la géologie...)
- **Données d'entrée des modèles de qualité variable :**
 - ✓ Géologie parfois fausse (pas assez précise, mauvaises limites,...)
 - ✓ Pas de prise en compte des matériaux de surface (épaisseur des limons...)
 - ✓ MNT pas toujours précis

❗ Il est nécessaire de revenir sur le terrain pour valider la pré-cartographie des stations forestières !

3) La pré-cartographie ne vaut pas carte définitive des stations forestières !



- **Simplification du travail de cartographie des stations forestières :**

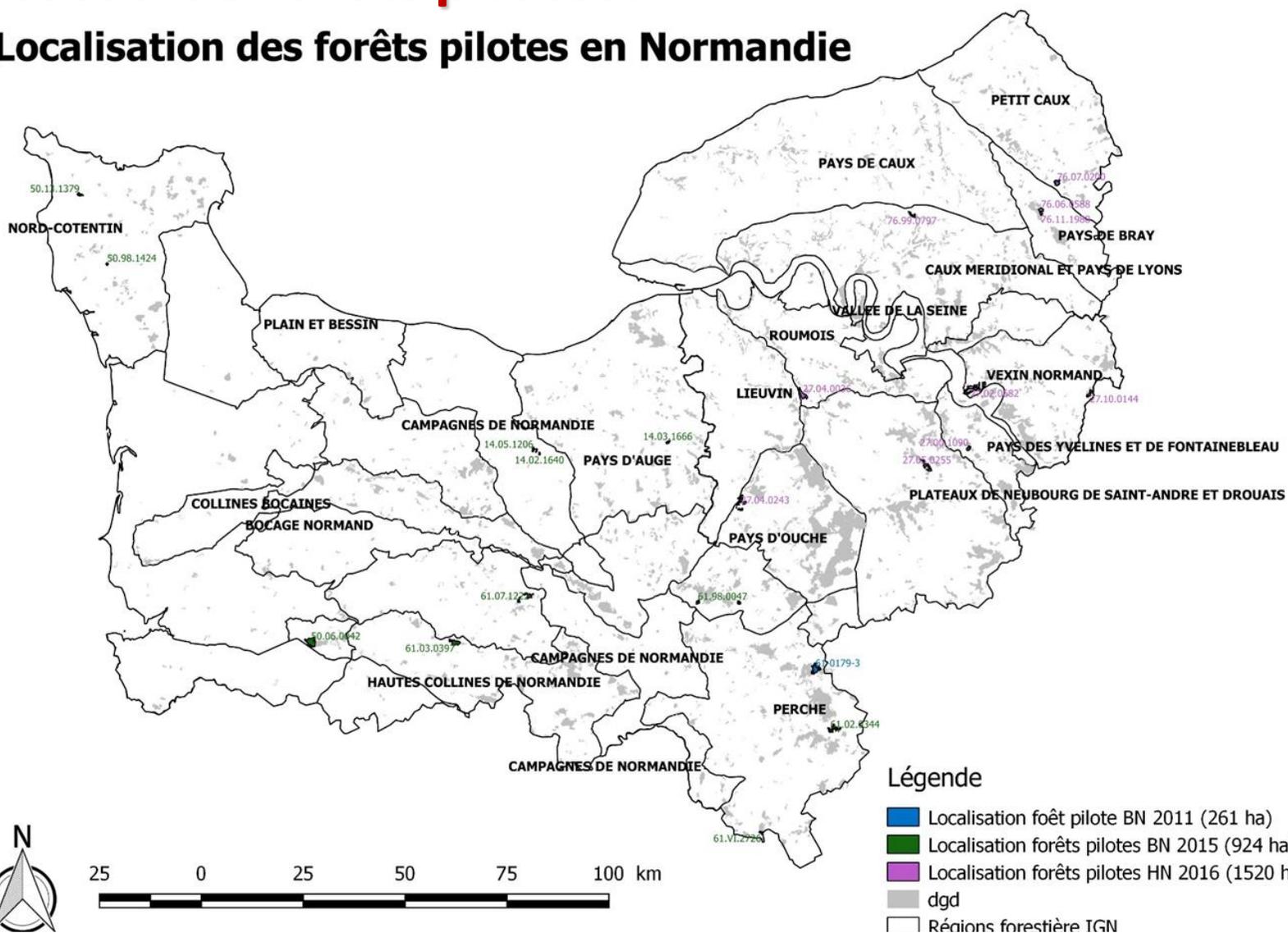
- ✓ Mise en place de **transects de relevés de validation** couvrant la diversité stationnelle du massif
- ✓ **Connaissance rapide** du contexte stationnel
- ✓ **Pré-découpage des variations potentielles** des stations

En moyenne sur un réseau de forêts pilotes (21) : 1 point de relevé pour 4 ha.

On divise donc par 4 le temps de travail par rapport à une méthode systématique !

3) Un test de la pré-cartographie des stations forestières sur un réseau de forêts pilotes!

Localisation des forêts pilotes en Normandie



• La pré-cartographie des stations est-elle suffisante pour réaliser une cartographie des stations définitives ?

- ✓ Retrouve-t-on les gradients ?
- ✓ Retrouve-t-on les limites entre stations sans forcément de bonnes correspondances ?
- ✓ Retrouve on le grand contexte stationnel ?

• Une forêt pilote est une forêt où une cartographie définitive selon le guide local

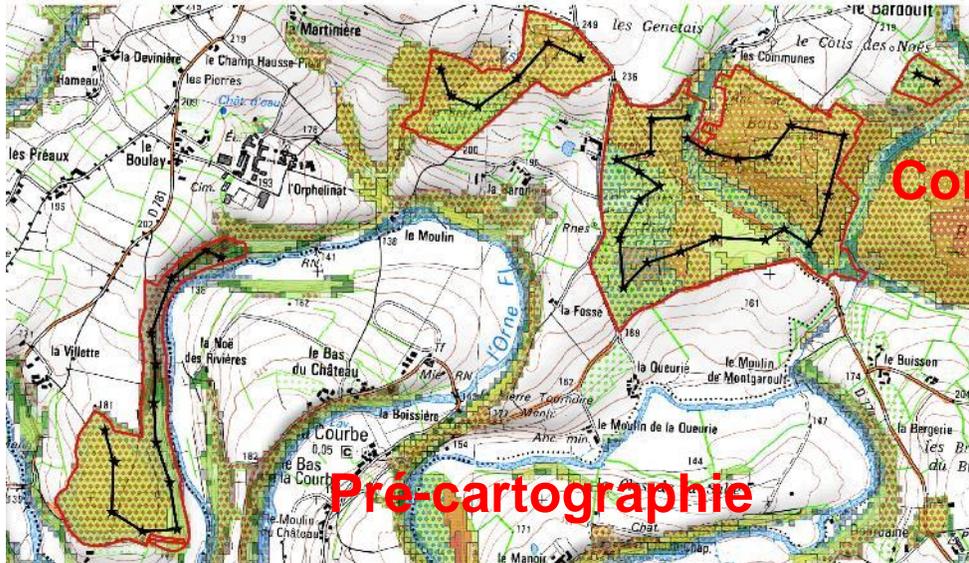
• Un réseau de forêts pilotes pour couvrir et illustrer la diversité des régions forestières :

✓ 21 en Normandie pour 2705 ha ; 26 en Hauts de France pour 1458 ha ; 10 en Ile de France Centre Val de Loire pour 515 ha

3) Fiabilité de la pré-cartographie des stations forestières ?

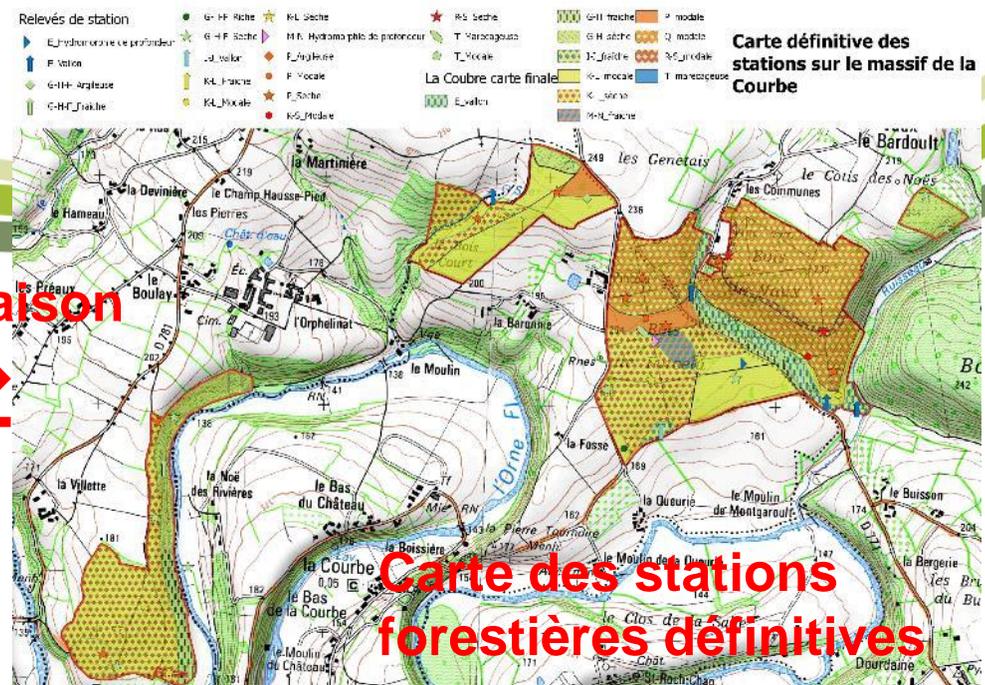
— Transects la Courbe	231	323	423	523
★ Transects points la Courbe	232	331	431	531
Pré-cartographie des stations	233	332	432	532
213	311	333	433	533
223	313	411	511	
	321	413	513	

Aide de la pré-cartographie des stations pour le prézonage sur le massif de la Courbe



Pré-cartographie

Comparaison



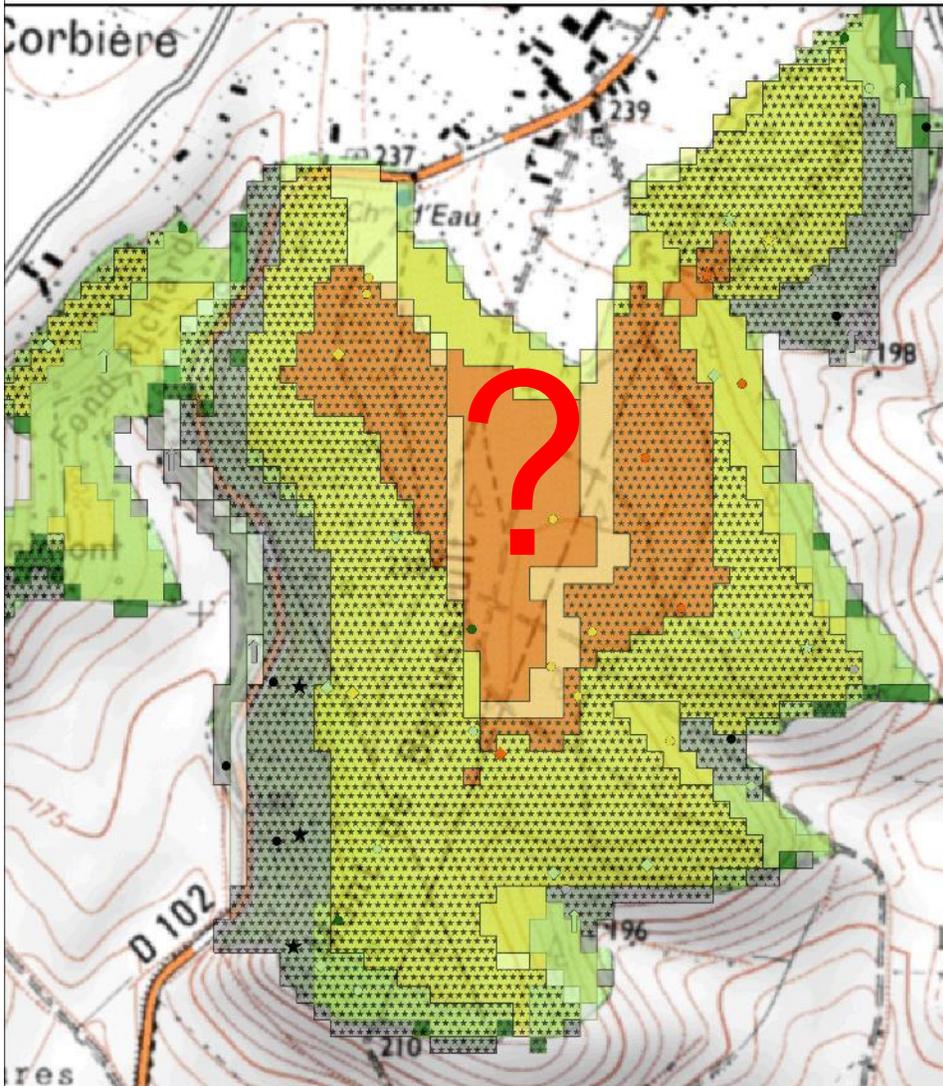
Carte définitive des stations sur le massif de la Courbe

Carte des stations forestières définitives

- **Bonne qualité du modèle sur le niveau trophique :**
 - ✓ Difficulté de la précision sur les secteurs avec potentiellement des sols carbonatés dans les 50 premiers cm
- **Réserve en eau (< 60 mm ; > 60 mm) :**
 - ✓ Tendance à la sous-estimation notamment en contexte de formations à silex
- **Engorgement (présence/absence):**
 - ✓ La présence/absence fonctionne assez bien. Le gradient d'hydromorphie (< 30 cm ; < 50 cm) semble peu fiable.
- **Unités cartographiques des stations forestières :**
 - ✓ Le taux de bonne correspondance a tendance à augmenter plus la géologie est variée.
 - ✓ Ce taux dépend beaucoup de la géologie en place et de son homogénéité.

3) Fiabilité de la pré-cartographie des stations forestières !

Pré-cartographie forestière sur le bois de Beaussault



Carte prédictive des stations forestières

213	313	513
221	323	523
222	333	533
223	413	613
233	423	623
	433	633

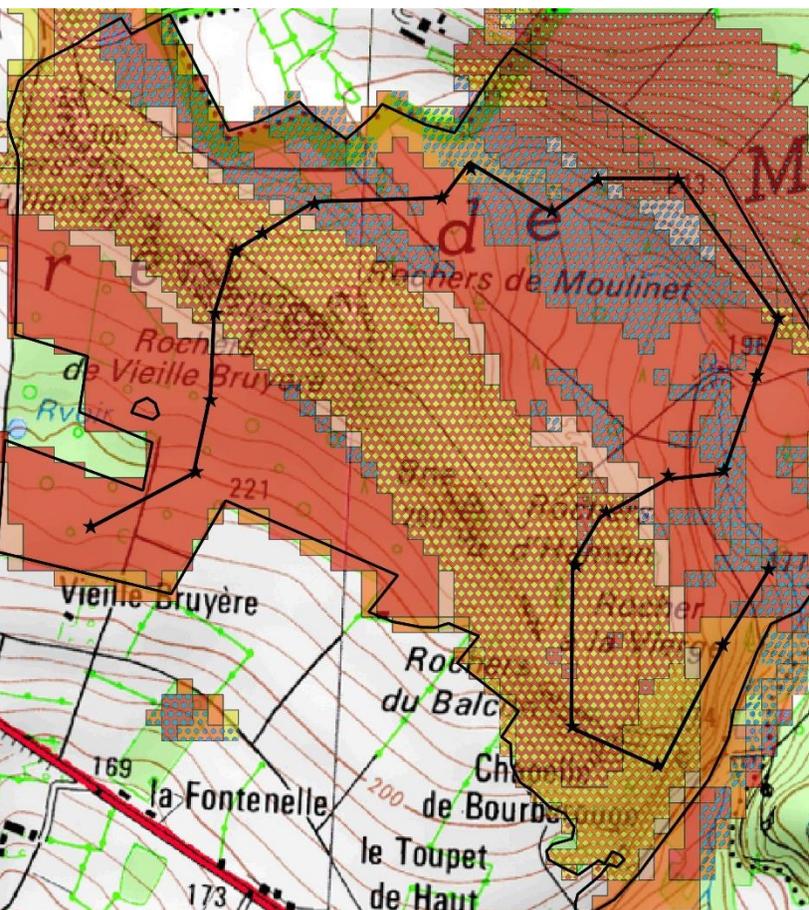
0 150 300 m N

Date : Mai 2017
 Source : ©CRPFN© ; ©IGN©
 Réalisation : JBR ©CRPFN©

Très forte correspondance entre la pré-cartographie de stations et la carte finale	2	10 %
La pré-cartographie et le fond IGN constituent un prézonage satisfaisant	12	57 %
La pré-cartographie et le fond IGN permettent de connaître le grand contexte stationnel et les grands gradients, mais cela n'est pas suffisant pour plus de précisions (plateau avec une géologie homogène)	4	19 %
La précartographie n'est pas utilisable pour un prézonage ; une méthodologie de cartographie systématique des stations est nécessaire	3	14 %

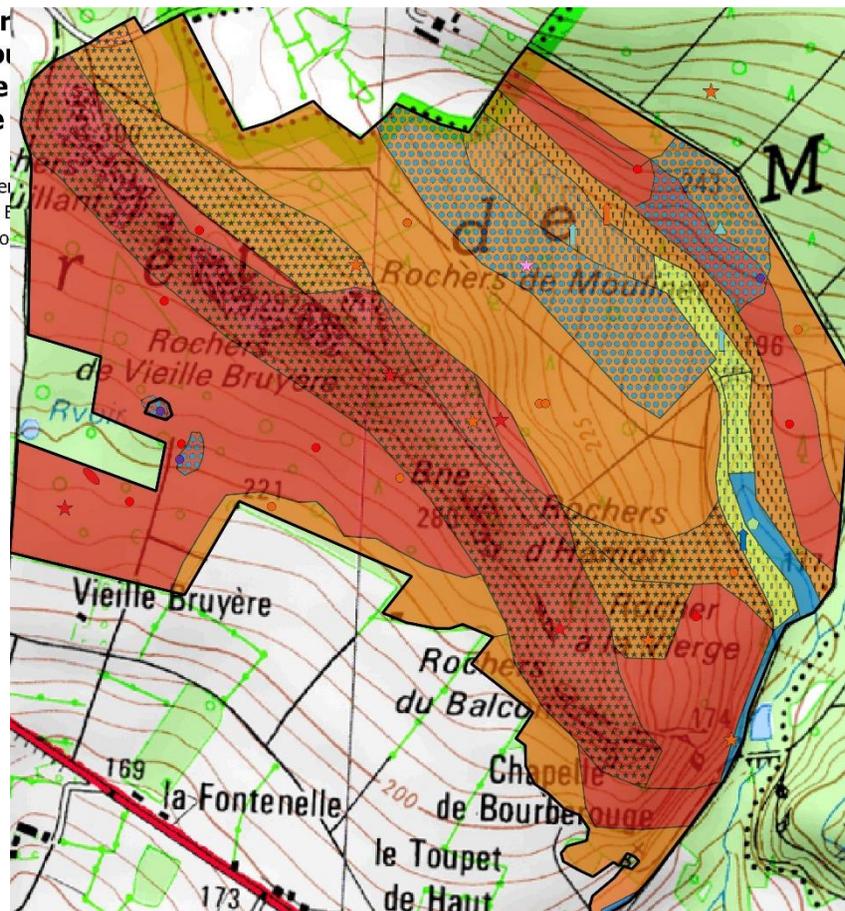
- Qualité de la pré-cartographie des stations forestières **très dépendant de la donnée géologique.**
- Qualité fonction de la précision recherchée (**36 unités cartographiques de sol**).
- Epaisseurs des limons, textures dominantes ; facteurs non intégrés pour l'instant dans la carte prédictive

3) Fiabilité de la pré-cartographie des stations forestières ?



Aide de la cartographie prédictive pour le zonage sur le Bourberouge

- Transects Bourberouge
 - ★ Transects points E
 - Dgd_la_landepo
- Carte prédictive
- 111
 - 112
 - 113
 - 121
 - 122
 - 123
 - 131
 - 132
 - 133
 - 211
 - 212
 - 213
 - 222
 - 223
 - 231
 - 232
 - 233
 - 311
 - 312
 - 313
 - 323
 - 331
 - 332
 - 333

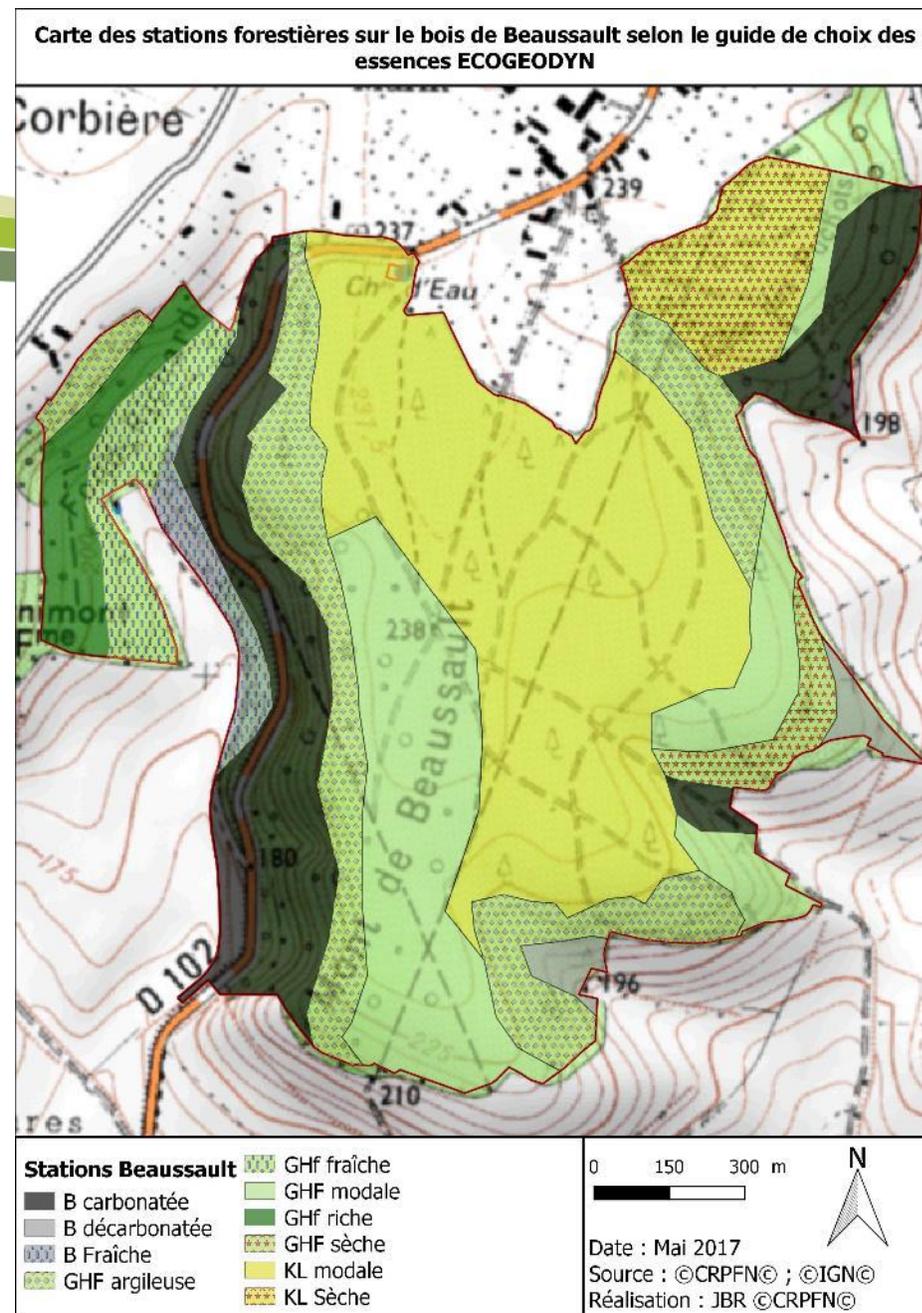
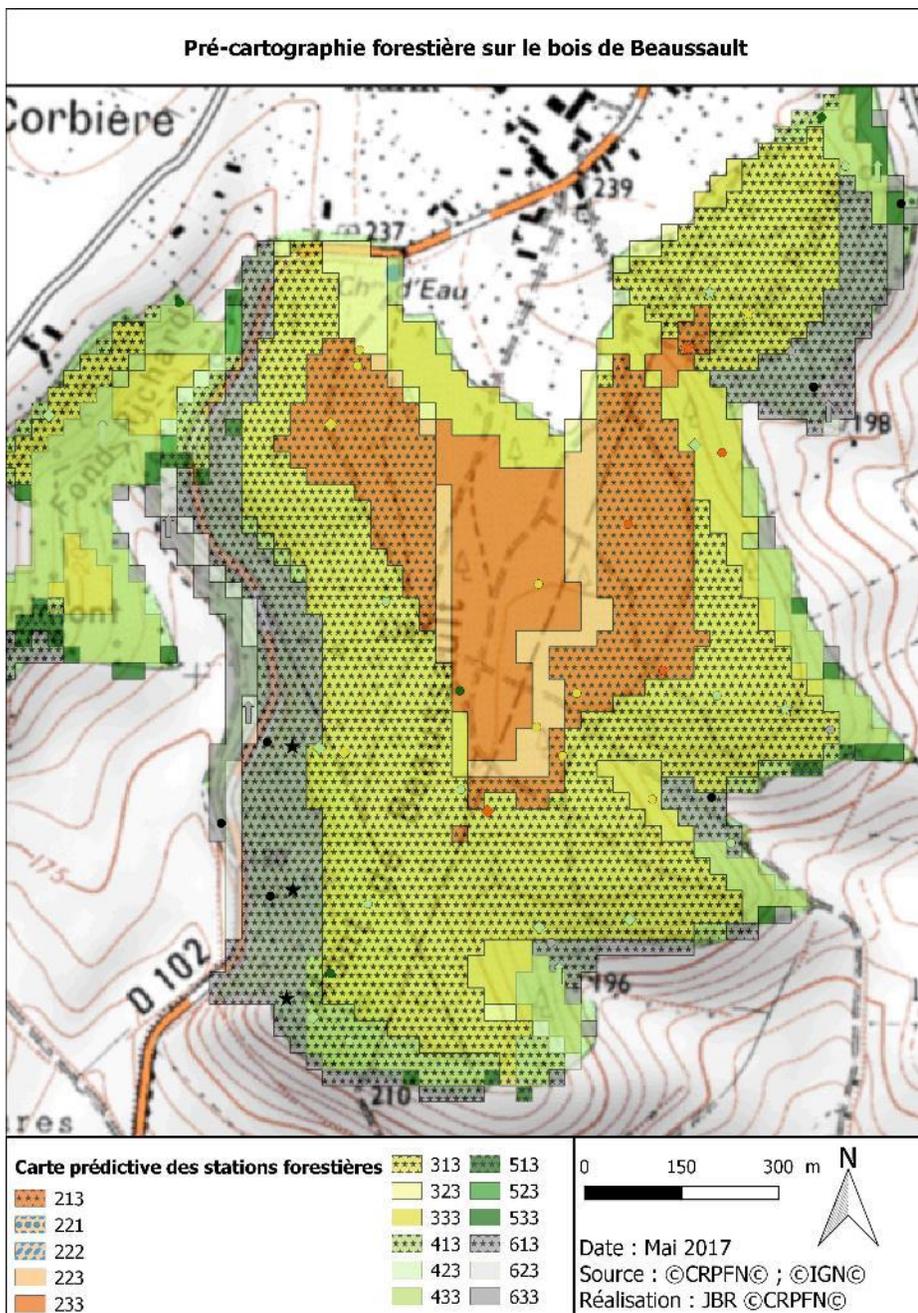


Carte des stations sur le massif de Bourberouge

- Dgd_la_landepourrie_bourberouge
- Carte des stations finale
- I-J vallon
 - M-N modale
 - M-N tres acide
 - M-N vallon
 - P fraiche
 - P modale
 - P tres acide
 - Q modale
 - R-S modale
 - T modale
- Relevés de stations
- ↑ E_Vallon
 - ▲ I-J_Hydomorphie de surface
 - ↑ I-J_Vallon
 - ★ M-N_Faible reserve en eau superfielle
 - ★ O_Faible reserve en eau superfielle
 - O_Modale
 - ↑ P_Fraiche
 - P_Modale
 - ★ P_Seche
 - R-S_Modale
 - ★ R-S_Seche
 - T_Modale
 - U_Marecageuse

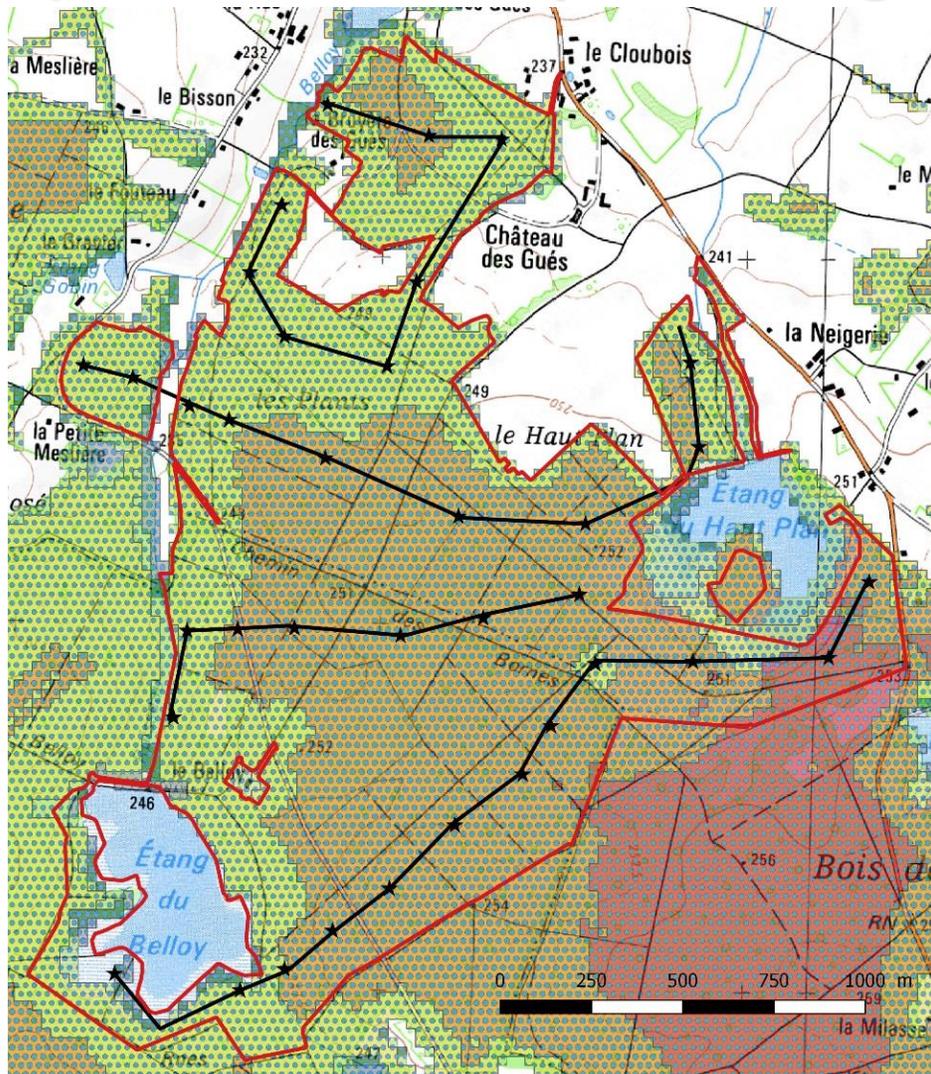
Très forte correspondance entre la pré-cartographie de stations et la carte finale !

3) Fiabilité de la pré-cartographie des stations forestières ?



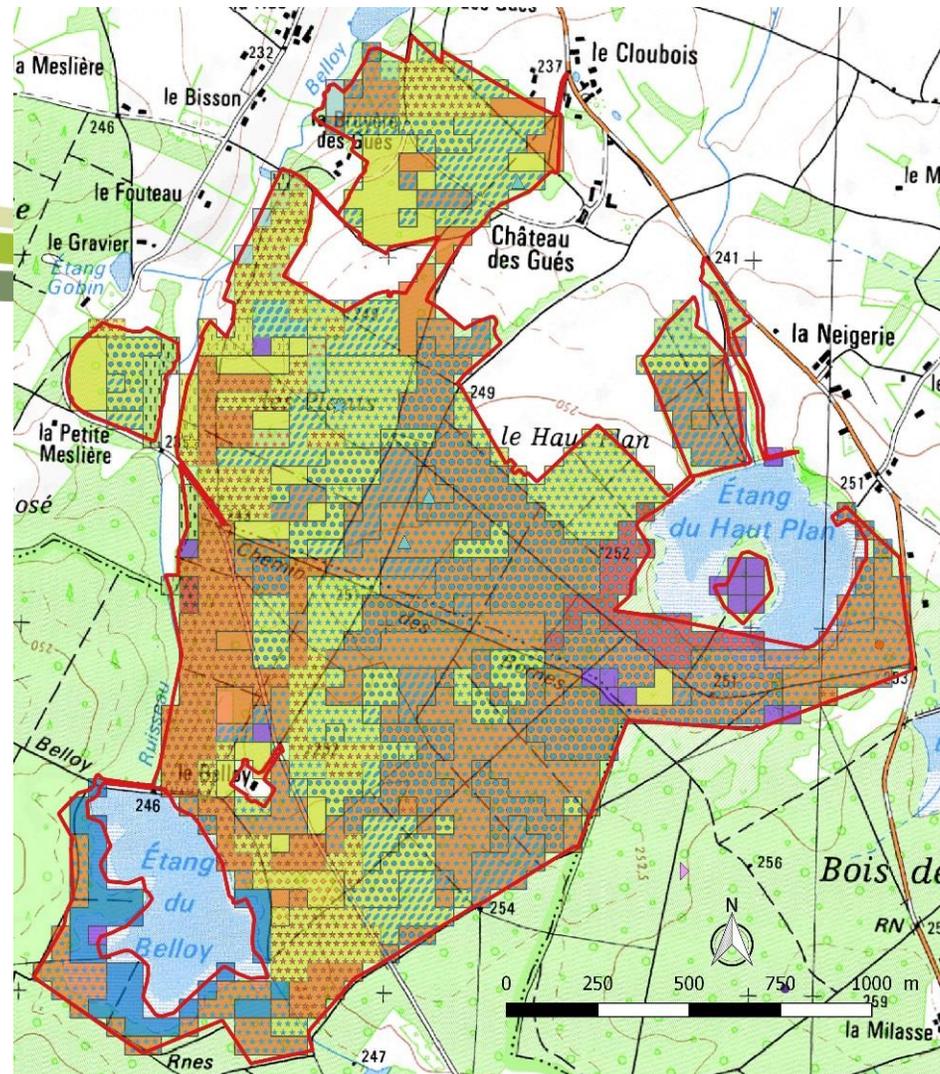
La pré-cartographie et le fond IGN constituent un prézonage satisfaisant !

3) Fiabilité de la pré-cartographie des stations forestières ?



- Transect Gués
- ★ Transect point Gués
- Pré-cartographie des stations
- 131
- 231
- 331
- 431
- 531
- 611
- 621
- 631

Apport de la pré-cartographie des stations sur le massif des Gués

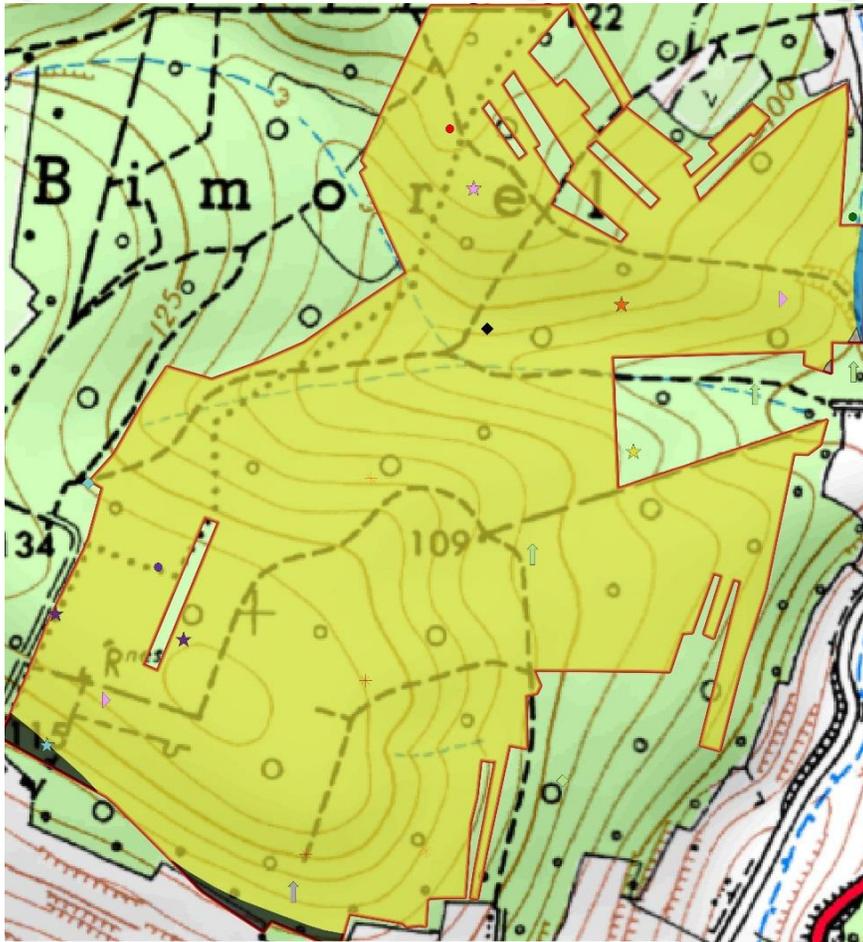


- Massif Gués**
- ID sèche
 - KL argileuse
 - E hydromorphie de profondeur
 - E sèche
 - E vallon
 - GHF sèche
 - GHF vallon
 - ID hydromorphie de profondeur
 - ID hydromorphie de surface
 - KL modale
 - KL sèche
 - KL vallon
 - MN argileuse
 - MN hydromorphie de profondeur
 - MN hydromorphie de surface
 - MN sèche
 - O modale
 - P modale
 - P sèche
 - RS sèche
 - T marécageuse
 - U marécageuse

Carte des des stations sur le massif des Gués

La pré-cartographie et le fond IGN constituent un prézonage qui n'est pas suffisant dans un contexte de plateau homogène. Quelle précision rechercher ?

3) Fiabilité de la pré-cartographie des stations forestières ?



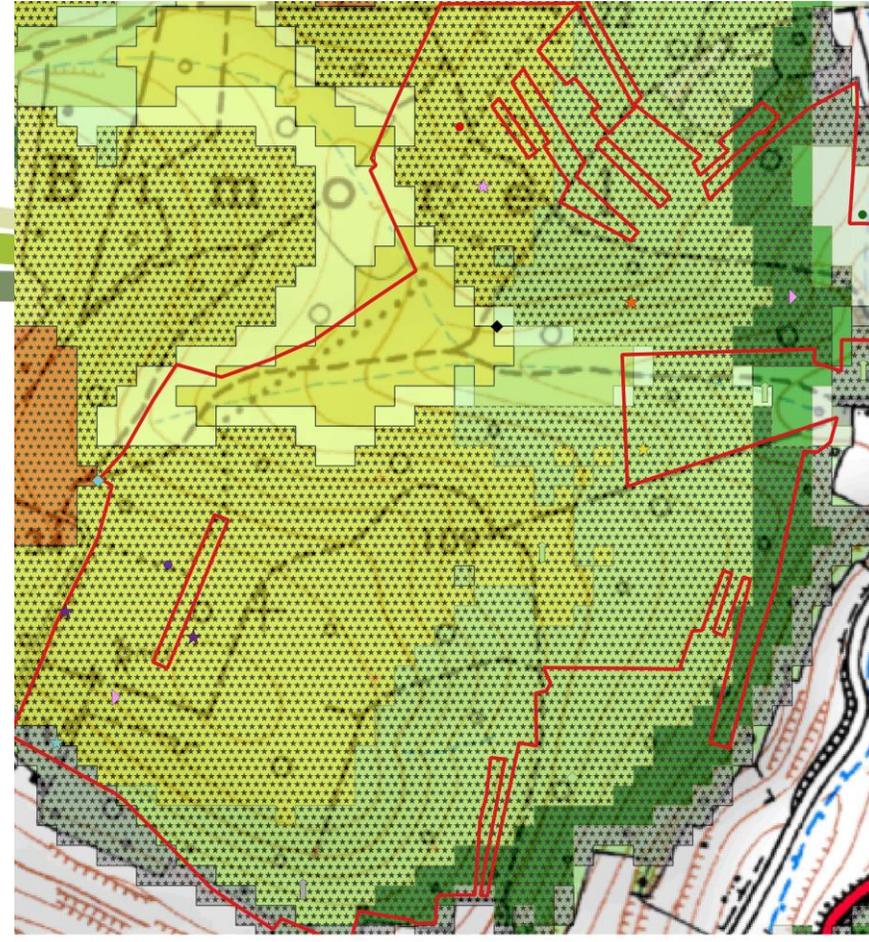
Géologie Bimorel

- Colluvions de fonds de vallons
- Colluvions diverses : limons, sables, argiles, fragments de silex et de craie
- Craie blanche à silex (biozone de foraminifères Coniacien-Santonien)
- Craie blanche à silex (Campanien-biozone de foraminifères)

ECOGEDYDYN et cartes prédictives

- B_Argiles carbonatées
- B_Fraiche
- G-H-F_Argileuse
- G-H-F_Fraiche
- I-J_Argileuse
- I-J_Faible reserve en eau superficielle
- K-L_Seche
- M-N_Faible reserve en eau superficielle
- M-N_Hydromorphie de profondeur
- O_Faible reserve en eau superficielle
- O_Modale
- P_Sableuse
- P_Seche
- R-S_Modale
- R-S_Sableuse

Carte de la géologie Bimorel et relevés de stations ECOGEDYDYN



Relevés de stations

- B_Argiles carbonatées
- B_Fraiche
- G-H-F_Argileuse
- G-H-F_Fraiche
- I-J_Argileuse
- I-J_Faible reserve en eau superficielle
- K-L_Seche
- M-N_Faible reserve en eau superficielle
- M-N_Hydromorphie de profondeur
- O_Faible reserve en eau superficielle
- O_Modale
- P_Sableuse
- P_Seche
- R-S_Modale
- R-S_Sableuse

Pré-cartographie des stations

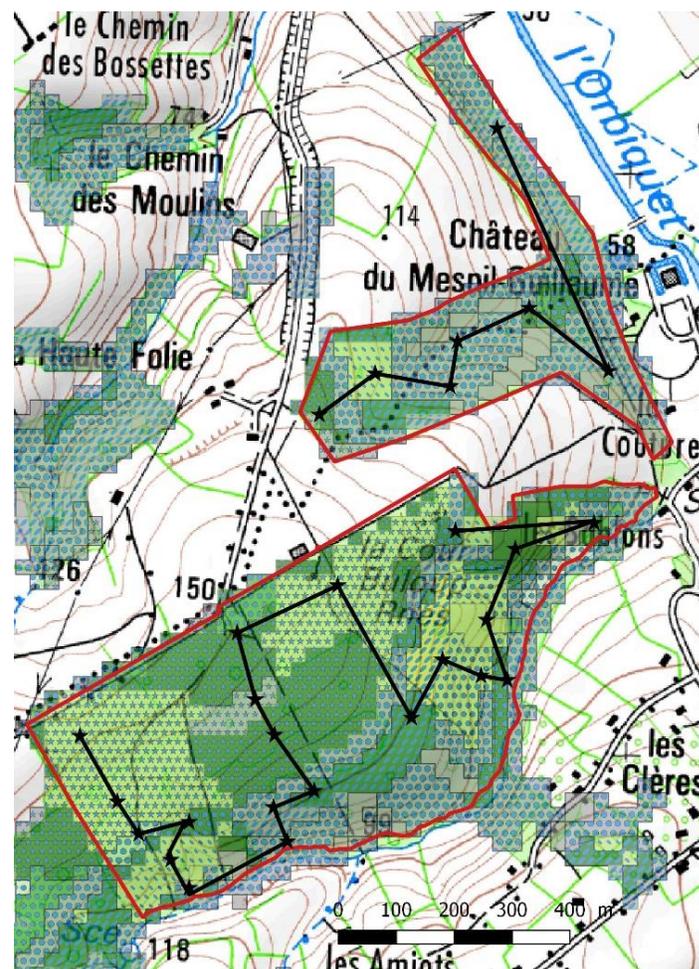
- 313
- 323
- 331
- 333
- 413
- 423
- 433
- 513
- 523
- 613
- 621
- 622
- 623
- 633

Pré-cartographie des stations Bimorel et relevés de stations ECOGEDYDYN

La précartographie n'est pas suffisante pour un prézonage ; une méthodologie de cartographie systématique des stations est presque nécessaire !

Une forte diversité de stations pour une géologie qui apparaît homogène = « Colluvions diverses : limons, argiles, fragments de craies »

3) Fiabilité de la pré-cartographie des stations forestières ?

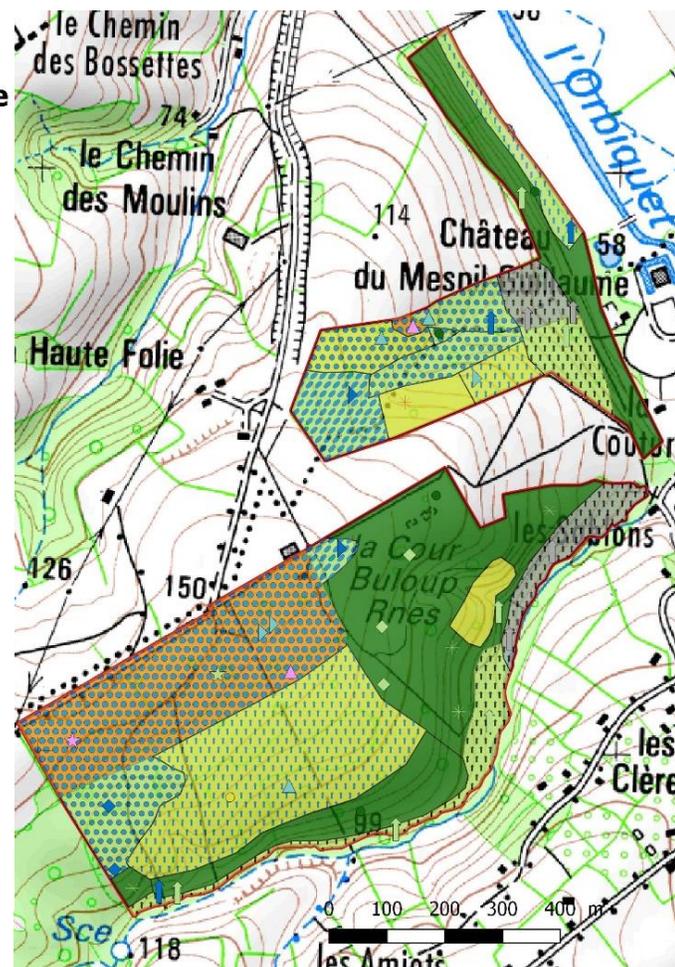


Aide de la pré-cartographie des stations sur le bois de Mesnil-Guillaume

- ★ Points transects Mesnil Guillaume
 - transects Mesnil Guillaume
 - ▭ dgd_mesnil_guillaume
- Pré-cartographie des stations

- ▭ 332
- ▭ 411
- ▭ 421
- ▭ 431
- ▭ 432
- ▭ 433
- ▭ 511
- ▭ 521
- ▭ 523
- ▭ 531
- ▭ 532
- ▭ 533
- ▭ 611
- ▭ 621
- ▭ 631
- ▭ 632
- ▭ 633

54,15 ha



Carte des stations définitive sur le bois de Mesnil-Guillaume

- ▭ dgd_mesnil_guillaume
- carte_station_Mesnil Guillaume

- ▭ B fraîche
- ▭ E fraîche
- ▭ E modale
- ▭ E vallon
- ▭ F fraîche
- ▭ F modale
- ▭ I-J fraîche
- ▭ I-J modale
- ▭ K-L modale
- ▭ M-N modale

Relevés stations

- ↑ B_Fraiche
- ◆ E_Argileuse
- ▴ E_Hydromorphie de profondeur
- ▴ E_Vallon
- ◆ G-H-F_Argileuse
- ◆ G-H-F_Fraiche
- G-H-F_Riche
- ◆ G-H-F_Sableuse
- ▴ I-J_Hydromorphie de profondeur
- ▴ I-J_Hydromorphie de surface
- K-L_Modale
- ★ M-N_Faible reserve en eau superficielle
- ▴ M-N_Hydromorphie de surface
- ◆ P_Sableuse

La précartographie n'est pas suffisante pour un prézonage ; une méthodologie de cartographie systématique des stations est presque nécessaire !

Effet patchwork sur les propriétés avec un mille feuilles géologiques avec ici une propriété de 54 !

3) Mettre en place une carte des stations forestières : méthodologie proposée

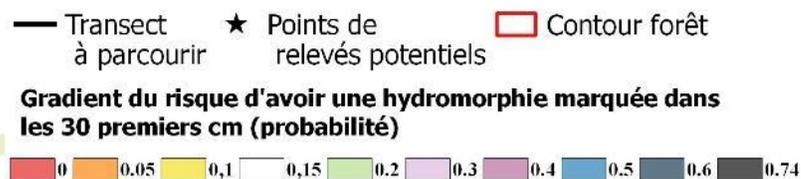


- Couvrir la diversité des unités cartographiques des stations forestières
- Inventorier toutes les situations topographiques possibles (loi des chaînes et des buttes et exposition en s'aidant du fond SCAN25®)
- La carte des peuplements permet d'affiner les transects (si possible inventaire sur l'ensemble des peuplements)
- Essayer de couvrir l'ensemble de la propriété si possible

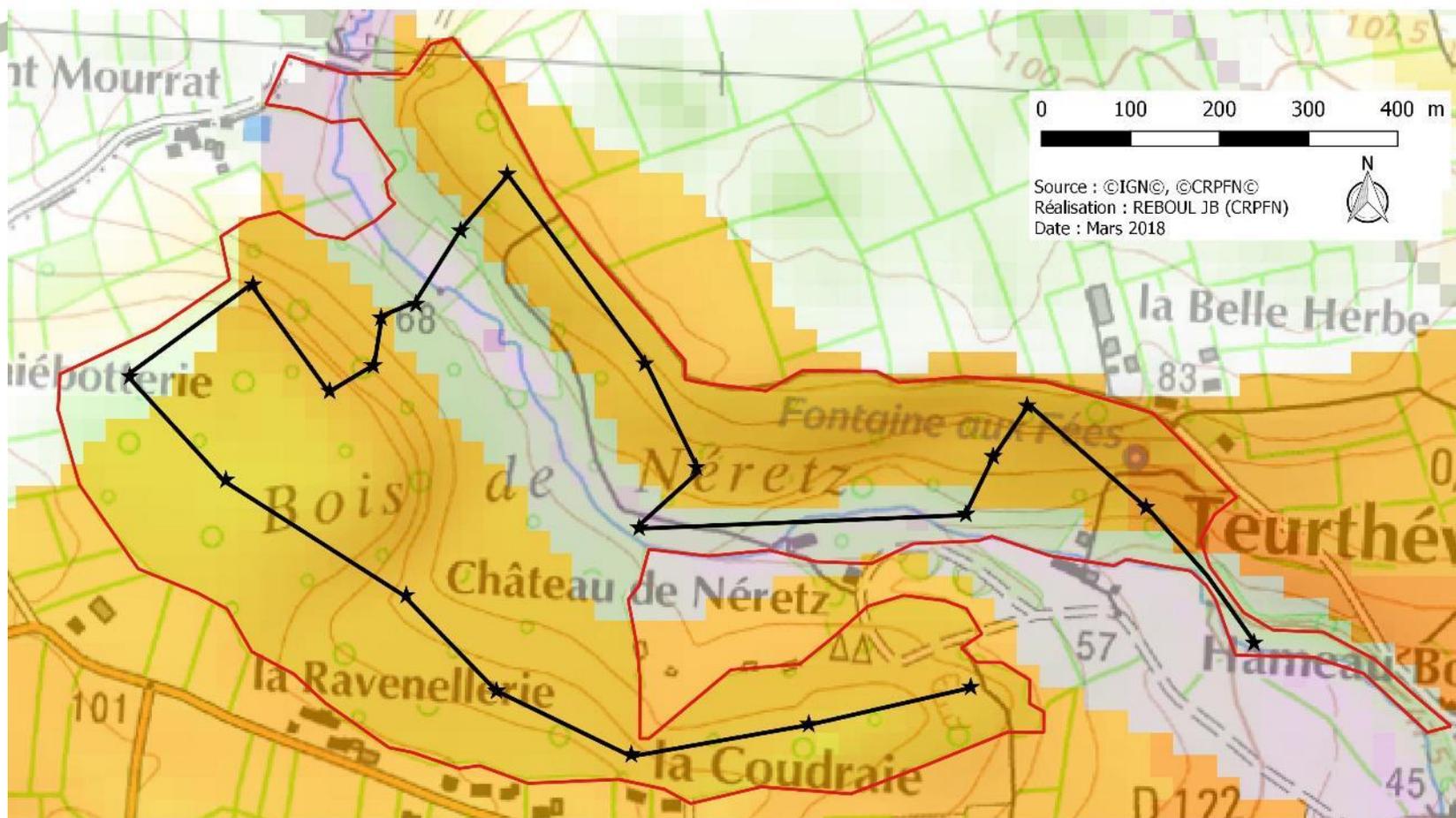
Méthodologie par zonages préalables avec transects de validation !

La pression d'échantillonnage varie entre 1 à 11 ha par point (moyenne de 4 ha/point) en fonction : de la diversité de la pré-cartographie, la diversité des peuplements, la précision recherchée....

3) Mettre en place une carte des stations forestières : méthodologie proposée

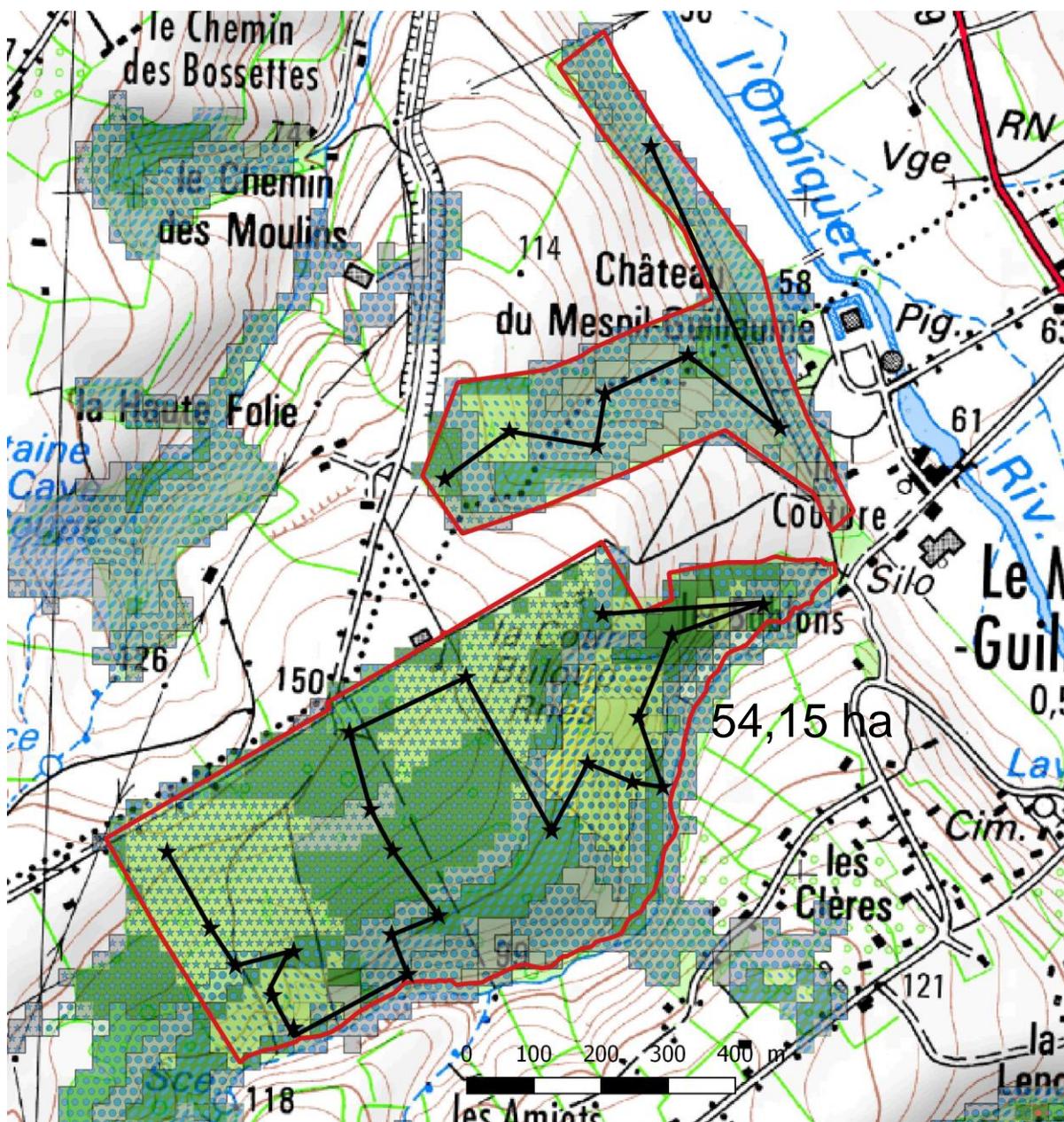


Pré-cartographie des stations sur un massif forestier de 53.46 ha
Mise en place d'un transect de relevés à parcourir



La pression d'échantillonnage est à adapter en vérifiant si les transects couvrent bien le gradient de réserve en eau ou du risque d'une hydromorphie marquée (manque possible de la pré-cartographie)

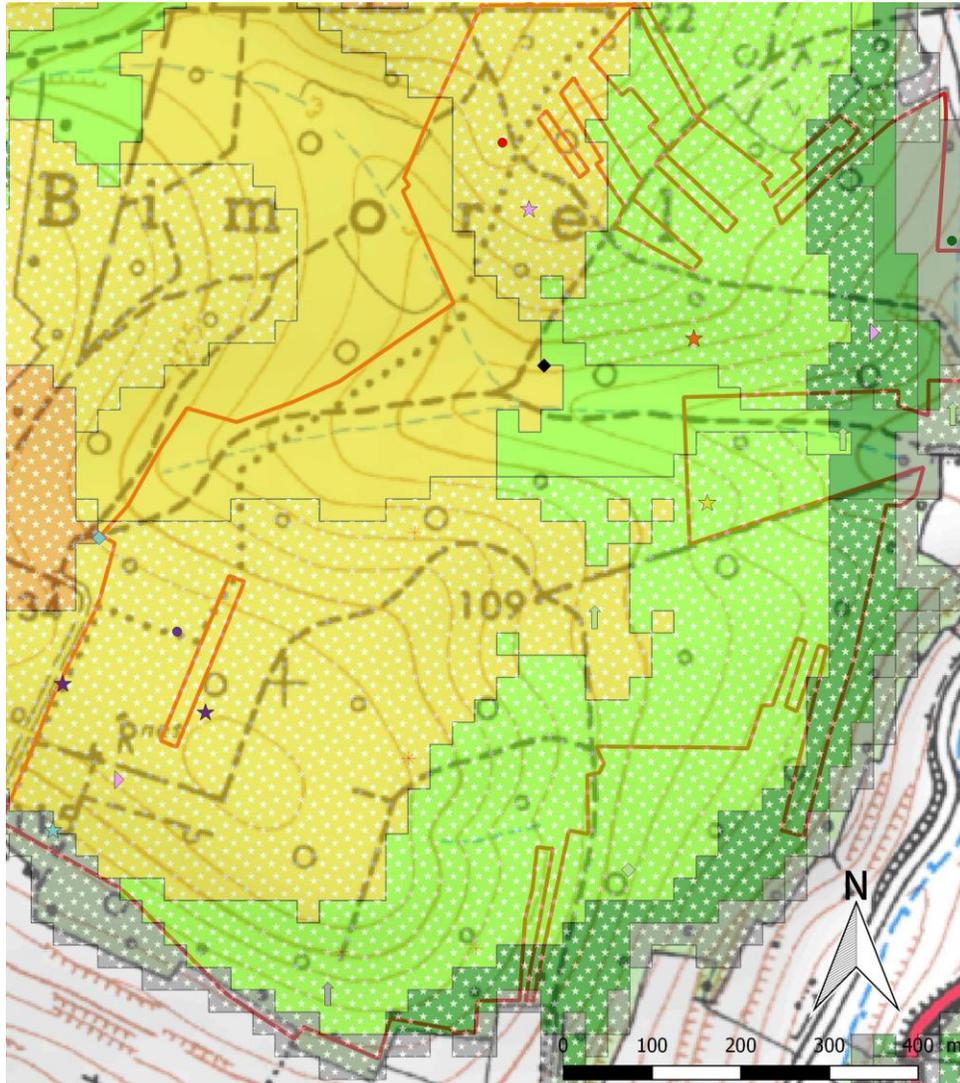
3) Mettre en place une carte des stations forestières : méthodologie proposée



Effet de pixellisation

- **Pré-cartographie** établie avec une **résolution au pas de 25 m**
- Un pixel de couleur différente au sein d'une UCS ou d'une zone de transition ne nécessite pas un nouveau relevé
- **Un amas de quelques pixels nécessite un relevé**
- **Si propriété « confetti », rapprocher les transects** (exemple ci contre avec un point pour 1,5 ha) ou faire le **choix d'une carte des stations moins précise.**

3) Mettre en place une carte des stations forestières : méthodologie proposée



Relevés de stations	
◆ B_Argiles carbonatées	◆ M-N_Hydromorphie de profondeur
▲ B_Fraiche	★ O_Faible reserve en eau superficielle
■ G-H-F_Argileuse	● O_Modale
● G-H-F_Fraiche	★ P_Sableuse
◆ I-J_Argileuse	★ P_Seche
★ I-J_Faible reserve en eau superficielle	● R-S_Modale
★ K-L_Seche	★ R-S_Sableuse
★ M-N_Faible reserve en eau superficielle	

Pré-cartographie	
■ 213	■ 313
	■ 323
	■ 413
	■ 423
	■ 513
	■ 523
	■ 613
	■ 623

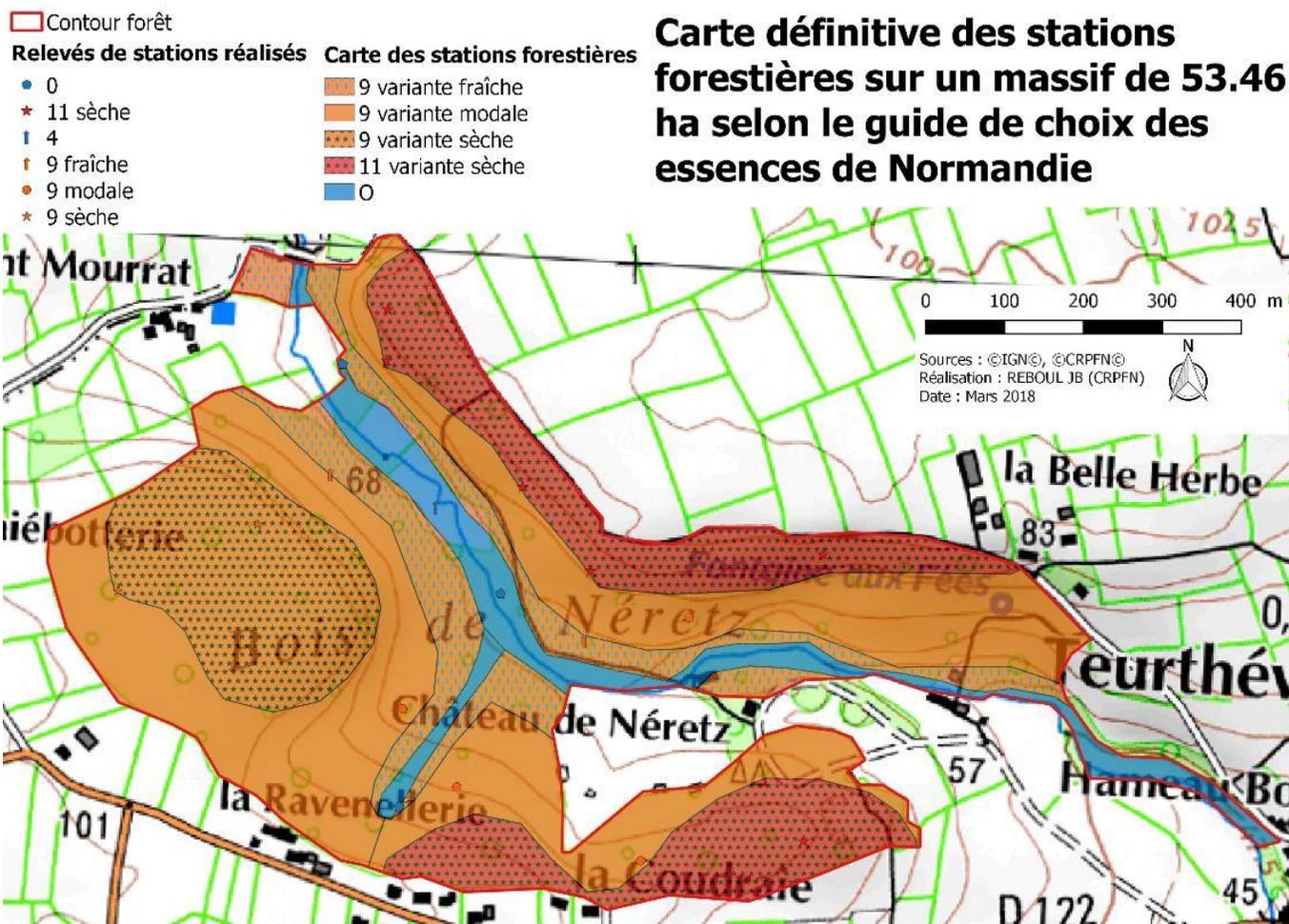
**Pré-cartographie
des stations
Bimorel et relevés
de stations
ECOGEODYN**

UCS prédites homogène sur une grande surface (5 ha et plus) :

- Faire au moins **deux points de calage** pour vérifier la variabilité.
- Points de calage pouvant s'appuyer sur :
 - ✓ *Un fond SCAN25®*
 - ✓ *Les gradients de réserve en eau ou du risque d'hydromorphie*
 - ✓ *La carte des peuplements*
- *Possibilité de faire le choix d'une carte des stations moins précise (variabilité non cartographiable).*

Effet grand bloc stationnel

3) Mettre en place une carte des stations forestières : méthodologie proposée



- Echantillonnage à adapter sur le terrain :
- ✓ Station non homogène ou trop petite
- ✓ Redondance des relevés au sein d'une station apparente
- ✓ Transition entre deux peuplements radicalement différents
- ✓ Comprendre une zone soudaine de chablis ou de dépérissement...
- ✓ Bordure de chemin ou cloisonnement fréquenté
- ✓ Affiner la cartographie si la pré-cartographie est imprécise

Localiser les relevés (GPS, application GPS sur smartphone...)

Fiche de relevés et guide de choix des essences pour caractériser les stations forestières

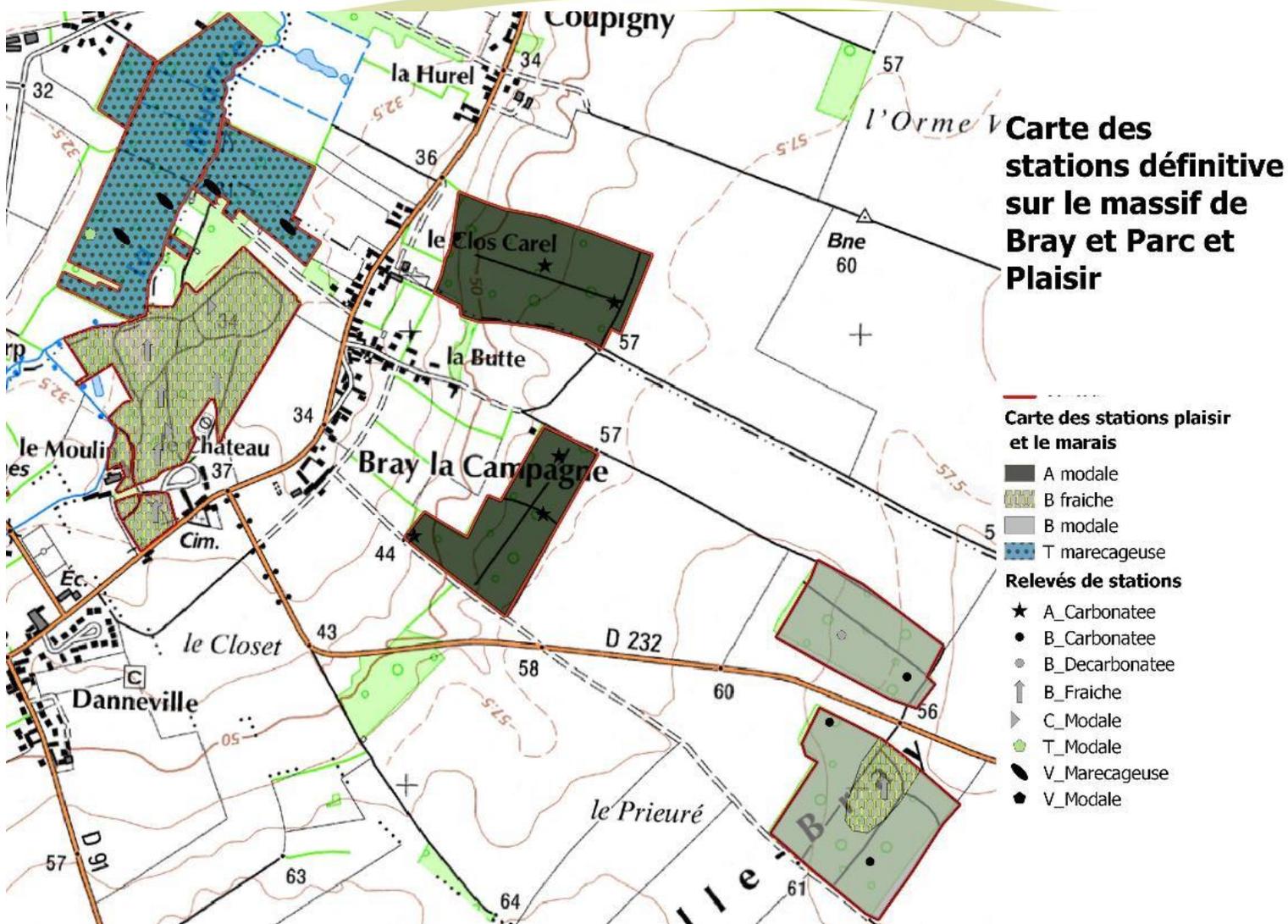
3) Mettre en place une carte des stations forestières : méthodologie proposée

US (12)	Variantes (48)	UCS (36)
0	Variante acide marécageuse	121, 221
	Variante acide modale	
	Variante peu acide à riche marécageuse	321, 421, 521, 621
	Variante peu acide à riche modale	
1	Variante carbonatée	613
	Variante décarbonatée en surface	
2	Variante argileuse	623
	Variante fraîche	
	Variante carbonatée	
	Variante décarbonatée	
3	Variante argileuse	611, 612, 621, 622
	Variante modale	
4	Variante fond de vallon	421, 422, 521, 522
	Variante à hydromorphie de surface	
	Variante à hydromorphie de profondeur	
	Variante argileuse	411, 412, 511, 512
Variante à faible réserve en eau superficielle		
5	Variante fraîche	523, 423
	Variante argileuse	
	Variante modale	423
	Variante riche	523
	Variante sableuse	413, 513
	Variante sèche	

US (12)	Variantes (48)	UCS (36)
6	Variante fond de vallon	321, 322
	Variante à hydromorphie de surface	
	Variante à hydromorphie de profondeur	
	Variante argileuse	312, 311
Variante à faible réserve en eau superficielle		
7	Variante fraîche	323
	Variante argileuse	
	Variante modale	313
	Variante sableuse	
8	Variante sèche	221, 222
	Variante fond de vallon	
	Variante à hydromorphie de surface	
	Variante à hydromorphie de profondeur	
9	Variante argileuse	211, 212
	Variante à faible réserve en eau superficielle	
	Variante fraîche	
	Variante argileuse	223
	Variante modale	
10	Variante sableuse	213
	Variante sèche	
	Variante modale	
11	Variante à faible réserve en eau superficielle	111, 112
	Variante modale	121, 122
12	Variante sèche	113
	Variante sableuse	
	Variante modale	123

Les guides de choix des essences : outils complémentaires indispensables !
Correspondance entre les Unités Cartographiques de Stations (UCS) et les unités des Guide !

3) Mettre en place une carte des stations forestières : méthodologie proposée



• Traçage de la carte des stations, s'aider des :

- ✓ Relevés réalisés projetés sous SIG
- ✓ Contour de la pré-cartographie
- ✓ Courbes de niveaux, cours d'eau (SCAN25®)
- ✓ Les gradients de réserve en eau ou d'hydromorphie
- ✓ Limites des peuplements
- ✓ La géologie

• Les petites unités peuvent être supprimées...

3) Intégration de cartographies des stations dans les PSG

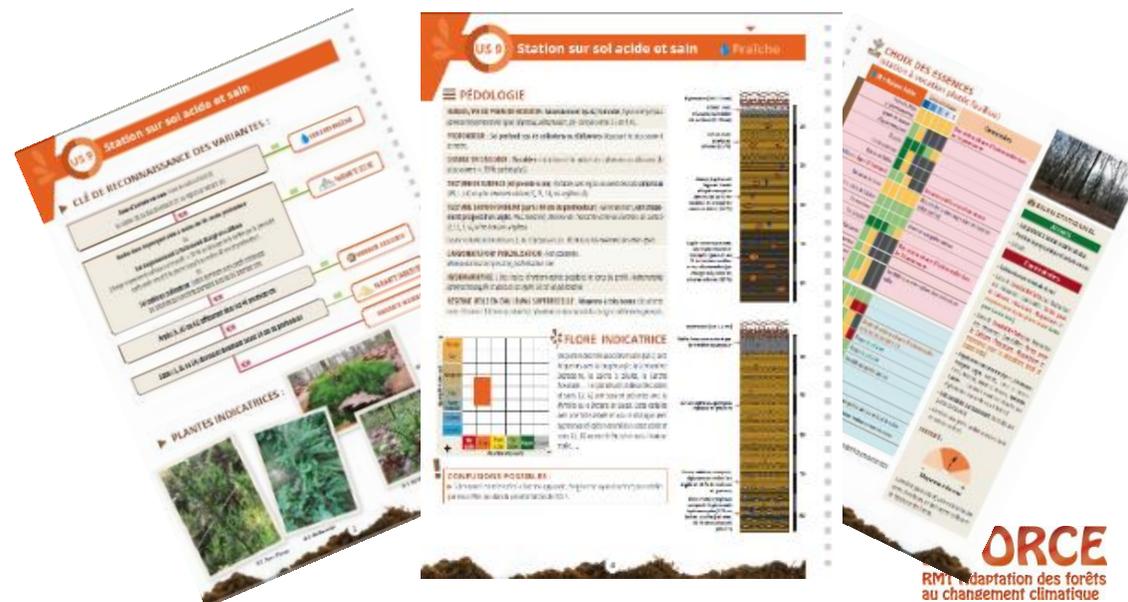
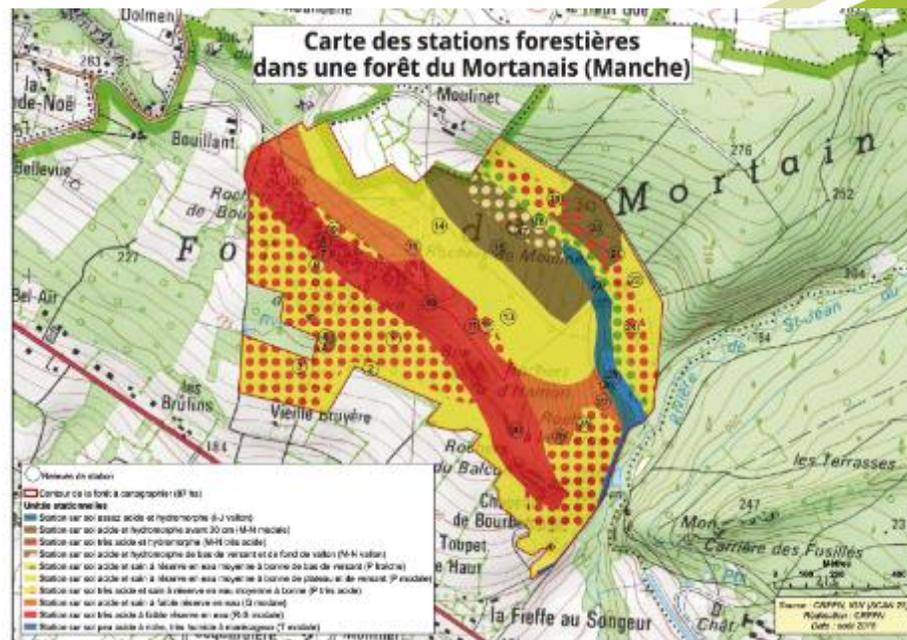
Validation par le CRPFN :

- Minutes terrains ;
- Carte définitive...

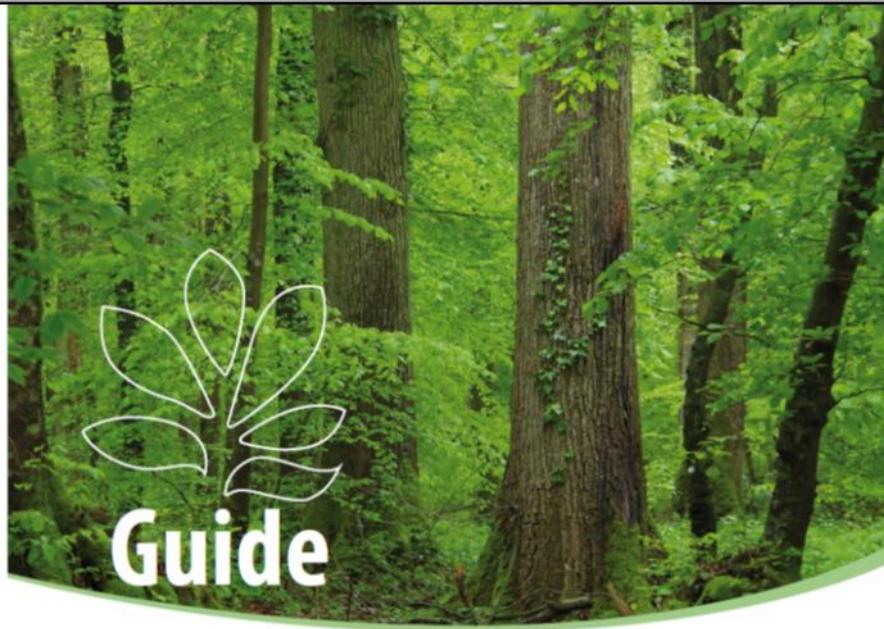
Aide forfaitaire :

- Propriété < 150 ha : **1 000 €** ;
- Propriété ≥ 150 ha : **1 500 €**.

Une enveloppe de 100 000 €/an avec l'aide au PSG volontaire et collectif jusqu'à fin 2020.



3) Déclinaison en cartes thématiques dont l'adaptation des essences



Guide

de choix des essences de Normandie



Carte des stations



Climat et station

- A carbonatée
- B carbonatée
- B décarbonatée
- B fraîche
- GHF argileux
- GHF fraîche

ions de la
ences ECC

clématique

En stati
Station

Limite c
Hors sta
A ne pa



CHOIX DES ESSENCES

	US 9 : Variante sèche	Zones climatiques					Précisions sur l'adaptation des essences en fonction des variations de la station
		Actuelles en Normandie		Futures possibles			
		1	2	3	4	5	
Résineux	Cèdre de l'Atlas (Expérimentation)						Démarrage de la plantation assez lent
	Cyprés de Lawson (Expérimentation)						
	Douglas						a : Limite de station en zones 1, 2 et hors station en zone 3
	Épicéa commun						a : Hors station
	Épicéa de Sitka						
	Mélèze d'Europe ou Mélèze hybride (! Sanitaire)						a : Hors station
	Pin laricio de Corse						
	Pin laricio de Calabre						
	Pin maritime						
	Pin sylvestre						?
Feuillus	Sapin pectiné						a : Hors station
	Séquoia toujours vert (Expérimentation)						a : Hors station ; sensibilité aux gelées tardives
	Alisier torminal						
	Bouleau verrucosus						Bouleau Pubescent hors station
	Châtaignier						a : Hors station
	Chêne pédonculé						
	Chêne pubescent (Expérimentation)						a : Limite de station
	Chêne sessile						a : Limite de station
	Chêne rouge d'Amérique						a : Limite de station
	Cormier (Expérimentation)						
Hêtre							
Robinier faux acacia							Démarrage de la plantation difficile avec la concurrence de la Fougère

Variation a : Sol à très faible réserve en eau*

Les essences non citées ici ne sont pas à introduire ! Elles ne supportent pas la faible réserve en eau comme le Sapin de Vancouver et/ou la faible réserve minérale comme le Tremble, le Charme, le Frêne...

* Une très faible réserve en eau correspond à une réserve utile en eau maximale inférieure à 100 mm. Elle correspond à la réserve en eau du sol jusqu'à la profondeur d'enracinement (souvent supérieure au mètre). Elle ne peut être estimée que sur une fosse profonde ou sur des chablis ! Sur les formations à silex, les sols sont souvent épais et la réserve en eau dépasse souvent 100 mm. De même, sur les altérites de schistes, granites ou grès, la profondeur d'altération et donc d'enracinement, ainsi que la réserve en eau peuvent être plus importants que ce que la tarrière pédologique indique.



Blocs de siltites diminuant la réserve en eau avec un sol tout de même relativement profond.

BILAN STATIONNEL

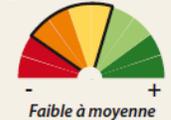
Atouts

- Sol sain drainé
- Sols caillouteux peu sensibles au tassement (ressuage rapide)

Contraintes

- **Faible réserve en eau superficielle** (réussite des plantations, production limitée et sensibilité aux sécheresses climatiques)
- **Problème de stabilité** sur les sols très caillouteux ou superficiels
- **Faible réserve minérale du sol**
- **Sensibilité forte à l'exportation des rémanents**
- **Végétation concurrente** : Ajoncs, Bouleaux, Callune, Fougère aigle, Genêts, Molinie, Myrtille, Ronces...

FERTILITÉ :



La fertilité (productivité) varie en fonction des zones climatiques, de la charge en cailloux et de l'épaisseur des sols et de la capacité des essences à prospecter les horizons profonds. La fertilité est faible sur sol superficiel (ranker ou lithosal) (moins de 50 cm d'épaisseur) ou peyrosol (plus de 40 % de cailloux sur l'ensemble du profil).