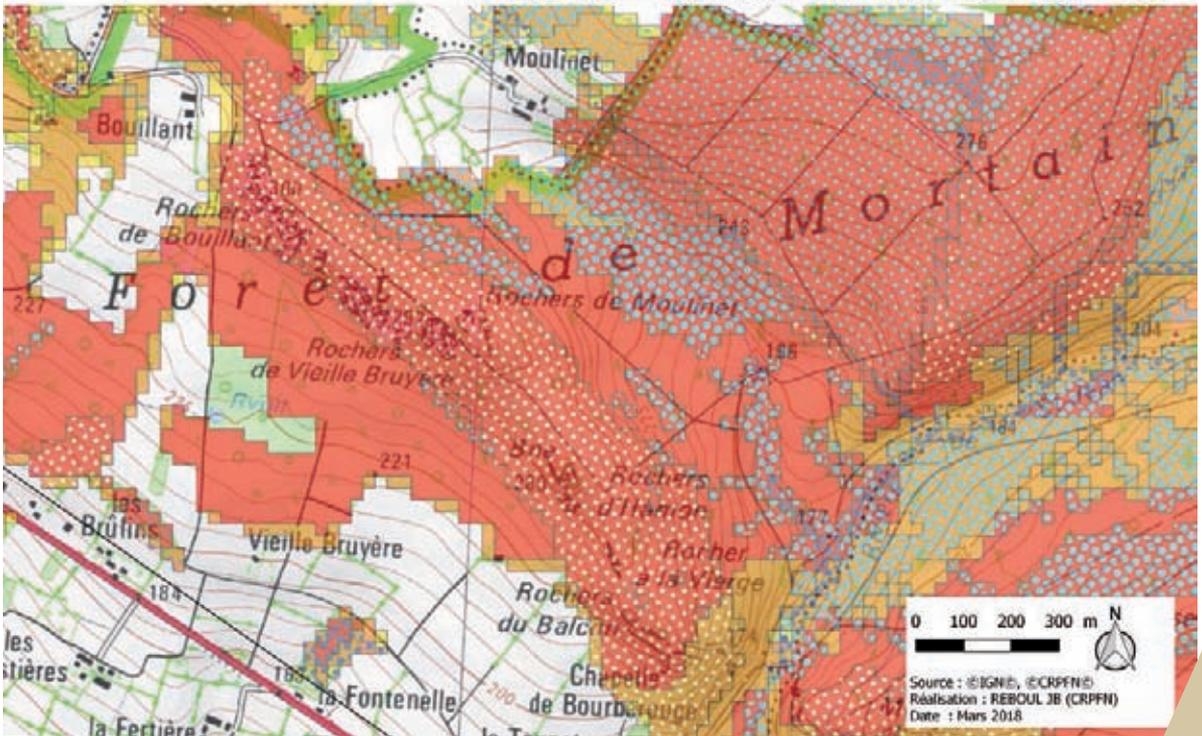


Extrait de la pré-cartographie des stations dans les environs de Mortain (50)

Unités de la pré-cartographie des stations forestières dans les environs de Mortain

111	113	122	211	213	222	311	313	322
112	121	123	212	221	223	312	321	323



La cartographie des stations est une opération peu pratiquée en forêt privée. S'il apparaît rapidement qu'il existe des freins financiers pour sa mise en place, ils ne sont pas nécessairement les seuls à intervenir.

C'est pour cela que le CRPF de Normandie a décidé de mettre en place une pré-cartographie des stations forestières, couplé à un guide de description des stations forestières et de choix des essences, afin de faciliter et de diminuer le temps des opérations de cartographie.

Annexe : La cartographie des stations forestières

- Les lois de répartition des sols
- La pré-cartographie des stations forestières
- Comment réaliser une cartographie des stations forestières ?
 - Méthodologie par zonage préalable avec transects
 - Phase de terrain
 - Traitement des données et réalisation de la carte des stations
- Les nombreuses déclinaisons possibles d'une carte des stations forestières

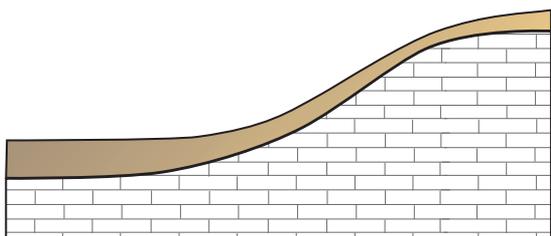
► LES LOIS DE RÉPARTITION DES « SOLS »

Il existe **des règles de pédologie qui permettent une analyse préliminaire de la forêt à cartographier**. Contrairement à certaines croyances passées, les sols sont des milieux « vivants » qui évoluent sur des pas de temps longs (plusieurs milliers d'années), voire dans certains cas très courts (quelques dizaines d'années). Cette évolution s'effectue selon une logique précise et assez bien connue et fait notamment appel à des facteurs climatiques, topographiques et géologiques. De ce fait, les sols sont distribués non pas aléatoirement mais d'une manière très précise principalement en fonction de ces gradients. **La pré-cartographie des stations forestières s'appuie sur ces règles**. Le laboratoire pédologique de Franche-Comté a formalisé certains mécanismes régissant pour partie la distribution des sols sous nos contrées sous forme de lois de répartitions des sols (LUCOTE, GAIFFE M., 1994.) qui permettent de mieux comprendre la répartition des stations forestières. Ces lois présentées ci-dessous permettent de mieux cerner la structuration paysagère et par conséquent la répartition des stations forestières. Les textes en italique et les schémas présentés ci-dessous sont repris de la publication de BAZIN N., GAUDIN S., 2004.

La loi des chaînes de sols

« En règle générale, les eaux de ruissellement font que « les hauts nourrissent les creux ». Il y a ainsi des transferts de matière le long des pentes. Les sols des zones convexes sont soumis à des pertes de matière (lessivage, érosion, ruissellement) alors que les sols des dépressions connaissent un apport de matériaux (accumulation, lessivage, ...).

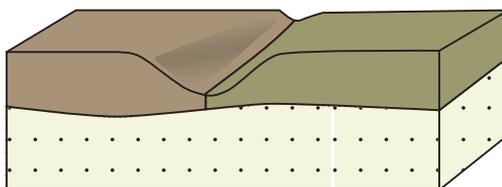
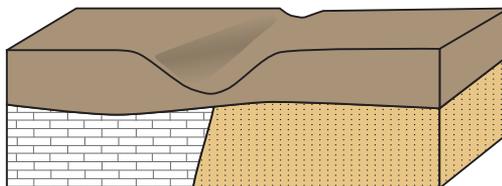
On arrive ainsi à la notion de chaîne de sols. Il existe des variations plus ou moins continues entre les points hauts et les creux (ce qui permet au cartographe d'anticiper les variations). Les sols colluviaux des positions basses présentent généralement une faible variabilité dans un contexte donné. Les relevés pourront y être limités. »



La loi des buttes

« Lorsqu'il existe un relief un peu marqué sur le massif à cartographier, il est possible de définir des zones convexes (buttes) et des dépressions. Ce modelé résulte de la circulation des eaux de ruissellement. Ces eaux ont tendance à progresser le long des discontinuités géologiques et dans les zones de partage entre matériaux (schéma ci-dessous).

Sachant cela, deux buttes voisines ont de fortes chances de présenter des stations différentes. Cette loi permet donc d'avoir une première approche focalisée sur les buttes pour estimer si elles présentent des différences significatives d'un point de vue stationnel. En revanche, la loi des chaînes de sols indique que les fonds varieront peu en raison du colluvionnement qui masque les formations sous-jacentes. »



Sur le schéma d'en haut, le vallon s'est créé dans une zone de transition géologique. Sur celui d'en bas, les eaux de ruissellement ont circulé en priorité dans la zone la plus fragile (changement de couverture pédologique).

► LA LOI DES COMPARTIMENTS

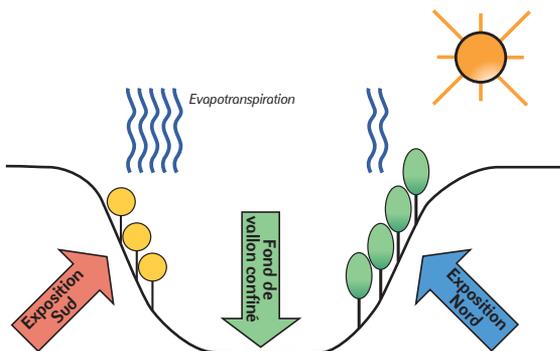
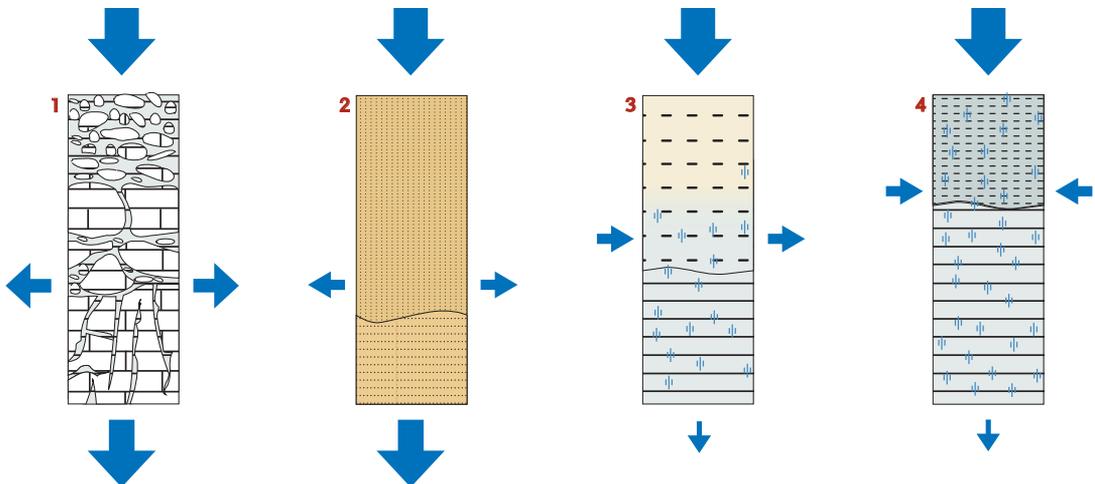
« Le sol et les roches sous-jacentes ont des propriétés physiques propres. Ils ont donc localement un comportement différent en ce qui concerne l'écoulement des eaux, notamment en raison de leur porosité. Il est possible de distinguer quatre systèmes principaux :

- 1- Les systèmes drainants hyper-poreux. Ils correspondent à un réseau de pores très ouverts (roches fracturées). Les processus d'entraînement et d'érosion fortement favorisés y limitent l'épaisseur des sols.
- 2- Les systèmes drainants poreux. Le réseau poral y est grossier (roches fissurées, dépôts alluviaux anciens sablo-graveleux...). Les eaux s'infiltrent verticalement et les ruissellements latéraux épisodiques n'entraînent qu'une érosion modérée.

3- Les systèmes étanches ouverts. Dans ces systèmes, le réseau de pores trop fins limite l'infiltration et provoque l'apparition de nappes. Il s'agit soit de nappes perchées (en position de plateau), soit de nappes phréatiques (en plaine alluviale).

4- Les systèmes étanches fermés. Ils correspondent aux compartiments non drainants et aux cuvettes fermées. L'eau y est prisonnière car elle ne peut pas s'écouler. »

Les flux d'eau sont schématisés en bleu, dans la figure suivante.



► L'EXPOSITION ET L'ALTITUDE

« En présence de pentes fortes, l'exposition joue un rôle important dans la répartition des stations. En effet, sur les versants « froids » (ubacs), les pertes d'eau du sol et de la végétation sont limitées par rapport à celles des versants « chauds » (adrets). La végétation du sous-bois et les essences peuvent donc être fort différentes d'un versant à l'autre.

Dans les zones montagneuses, l'altitude peut également être prise en compte. En effet, la végétation y est étagée en fonction de l'altitude. »

► LA PRÉ-CARTOGRAPHIE DES STATIONS FORESTIÈRES

La pré-cartographie des stations forestières est un prézonage des stations potentielles et de leur répartition selon la géologie, la topographie...

Cette pré-cartographie est issue du croisement de 3 facteurs écologiques modélisés, spatialisés et reclassifiés :

- 1) **Niveau trophique**, soit le pH bio-indiqué des sols, obtenu à partir de l'analyse de la végétation ;
- 2) **Réserve en eau maximale des sols** estimée sur une profondeur maximum de 90 cm ;
- 3) **Niveau d'hydromorphie**, soit la probabilité d'avoir une hydromorphie marquée à différentes profondeurs.

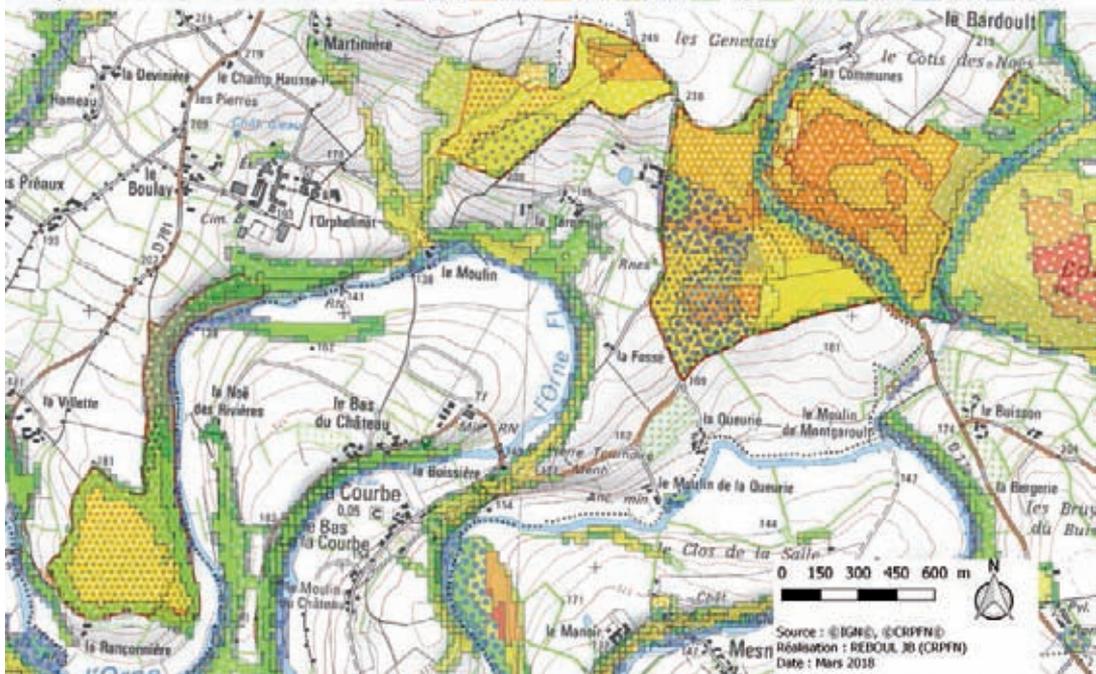
L'élaboration des cartes de ces 3 facteurs est basée sur des modèles statistiques prenant en compte diverses informations comme la géologie, la topographie, l'ancienneté de l'état boisé, l'effet des peuplements...

Les différents facteurs ont été reclassifiés selon les différents découpages du niveau trophique, de la réserve en eau et des niveaux d'hydromorphie des unités stationnelles et variantes de ce guide.

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				

La pré-cartographie est issue du croisement des trois variables précédentes avec en tout 36 unités cartographiques de sols (UCS). Elle permet de visualiser les successions potentielles des stations forestières dans l'espace, selon la géologie, le relief, les peuplements ainsi que des particularités locales.

Pré-cartographie des stations forestières Exemple dans les boucles de l'Orne



La pré-cartographie ne vaut pas carte définitive des stations forestières. Issue de trois modèles, elle cumule les erreurs de ces derniers. Ces erreurs peuvent être dues par exemple, à une mauvaise interprétation et/ou une mauvaise cartographie de la géologie...

La pré-cartographie est complémentaire de ce guide de choix des essences. Elle sert à simplifier le travail de cartographie définitive en facilitant la mise en place de transects et de points de relevés couvrant la diversité stationnelle des forêts. Elle permet une connaissance rapide du contexte stationnel, avec un pré-découpage des variations potentielles des stations.

> Les liens théoriques entre les unités stationnelles et variantes de ce guide et les unités cartographiques de la pré-cartographie sont les suivants.

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	

Pour passer de la pré-cartographie à une vraie cartographie des stations forestières, il est nécessaire d'effectuer une phase de terrain. La méthodologie décrite dans le chapitre suivant correspond à la technique la plus performante et économe en temps.

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	
	Variante argileuse	
9	Variante à faible réserve en eau superficielle	211, 212
	Variante fraîche	223
	Variante argileuse	
	Variante modale	213
	Variante sableuse	
Variante sèche		
10	Variante à faible réserve en eau superficielle	111, 112
	Variante modale	121, 122
11	Variante sèche	113
	Variante sableuse	
	Variante modale	123

► COMMENT RÉALISER UNE CARTOGRAPHIE DES STATIONS FORESTIÈRES ?

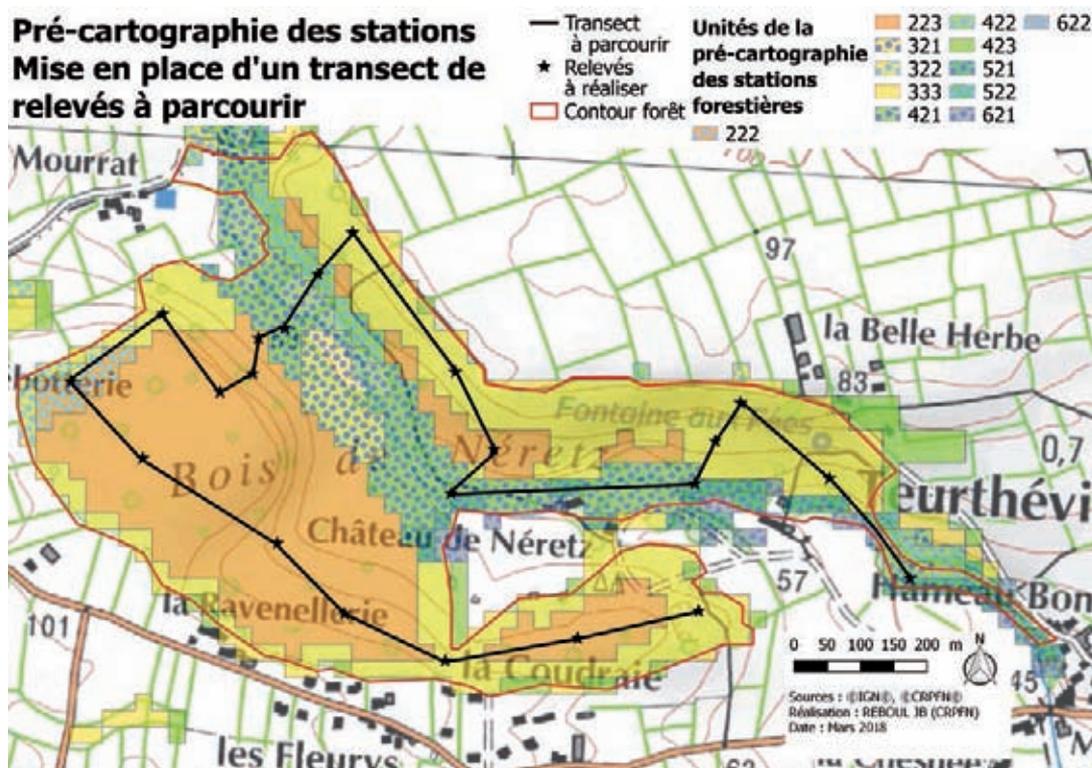
Méthodologie par zonages préalables avec transects

La pré-cartographie des stations est disponible sur le portail cartographique de géonormandie ou à partir du site internet du CRPF de Normandie.

Après consultation de la pré-cartographie des stations forestières, la méthode par zonages préalables avec transects est mise en place. On va positionner sur la pré-cartographie des stations forestières, des transects à parcourir avec des points de relevés potentiels en fonction de :

- La diversité de la pré-cartographie : il faut couvrir toute la variabilité possible avec des répétitions pour la valider et l'améliorer ;
- La taille de la forêt : il faut couvrir l'intégralité de la forêt sans laisser de secteurs vides ;
- La topographie : il faut inventorier toutes les situations topographiques possibles et notamment les fonds de vallon avec et sans cours d'eau et les buttes (loi des buttes). En effet, la pré-cartographie peut ne pas intégrer tous ces changements, notamment ceux à faible échelle. C'est pour cette raison qu'il faut afficher le SCAN 25° en fond de carte.
- La carte des peuplements, si elle est disponible permet également d'affiner les transects. On essaye d'inventorier les stations sur l'ensemble des divers peuplements d'une propriété.

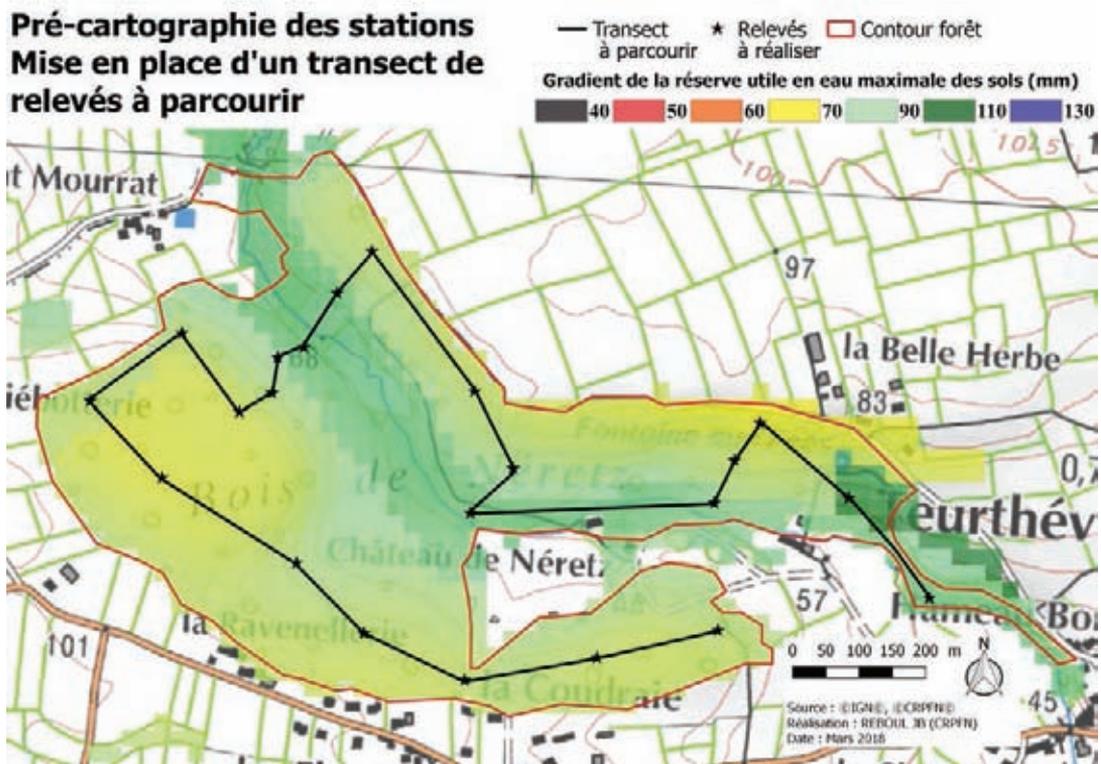
> La figure suivante est un exemple de positionnement des transects de relevés prévisionnels dans une propriété de la Manche. L'intégralité du territoire, de la topographie, ainsi que l'ensemble des conditions stationnelles prédites par la pré-cartographie, sont couvertes.



La pression d'échantillonnage pour mettre place une carte des stations forestières, testée sur un réseau de forêts-pilotes, varie dans les limites suivantes : en moyenne 1 point pour 4 ha avec une fourchette entre un minimum d'un point pour 11 ha et un maximum d'un point pour 1 ha. Les chiffres présentés ci-dessus varient en fonction de plusieurs critères comme : la diversité des conditions stationnelles de la forêt (géologie, topographie, peuplements), l'éclatement du foncier, **la précision recherchée...**

En effet, la pression d'échantillonnage est à adapter en fonction des situations suivantes :

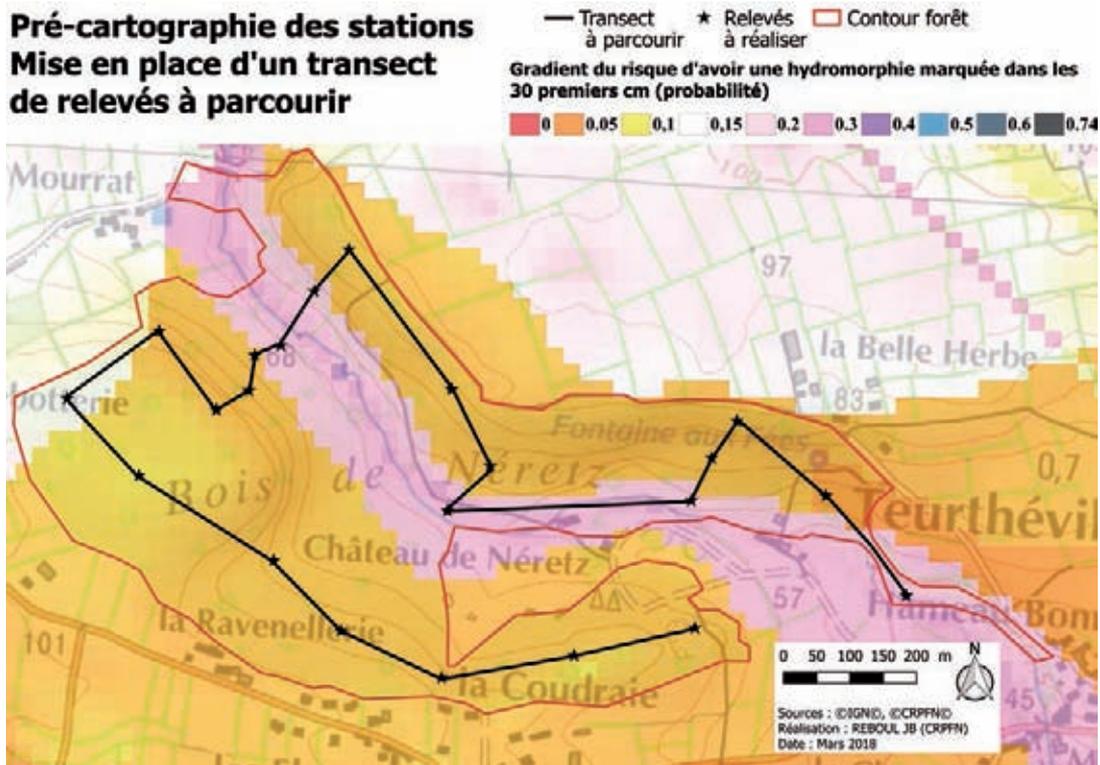
- **Couvrir le gradient de réserve en eau :** La carte du gradient de réserve en eau (réserve utile maximale en mm sur une profondeur de 90 cm) est visualisable sur le site géonormandie. Elle permet d'affiner les transects en vérifiant si tout le gradient de réserve en eau est bien couvert. En effet, la pré-cartographie seule n'est pas assez précise pour s'assurer de couvrir toutes les conditions de réserve en eau.



> Sur la figure précédente, on voit que le transect posé avec la pré-cartographie des stations forestières couvre bien le gradient de réserve en eau, avec notamment des points de relevés dans les secteurs à réserve en eau réduite, qui permettront peut-être de distinguer des variantes sèches d'autres variantes.

- **Couvrir le gradient du risque d'avoir une hydromorphie marquée dans les 30 premiers cm :** La carte de la probabilité d'avoir une hydromorphie marquée dans les 30 premiers cm du sol est visualisable sur le site géonormandie. Elle permet d'affiner les transects en vérifiant si tout le gradient du risque d'avoir une hydromorphie marquée dans les 30 premiers cm du sol est bien couvert. En effet, la pré-cartographie seule n'est pas toujours assez précise, pour s'assurer de couvrir toutes les conditions d'hydromorphie.

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



> Sur la figure précédente, on voit que le transect posé avec la pré-cartographie des stations forestières couvre bien le gradient d'hydromorphie,

- **Effet de pixellisation** : Il faut veiller à « l'effet pixel » de la carte. En effet, la carte prédictive est établie avec une résolution au pas de 25 m. On peut régulièrement distinguer un pixel de couleur différente au sein d'une transition entre deux stations différentes ou au sein d'une unité stationnelle. Ces pixels isolés n'indiquent pas forcément une nouvelle station et ne nécessitent pas la réalisation d'un relevé. A l'inverse, les amas de quelques pixels peuvent quant à eux nécessiter l'installation d'un relevé pour confirmer le changement de type de station.

Dans les propriétés « confettis » avec un effet pixellisation de la pré-cartographie des stations (nombreuses petites stations prédites), il faut rapprocher les transects, afin de s'assurer de ne pas être dans un contexte d'une très forte diversité des types de station.

- **Effet grand bloc stationnel** : Si les stations prédites sont homogènes sur une grande surface (5 hectares et plus), il faut vérifier par plusieurs points de calage si elles ne cachent pas une forte variabilité. Ces points de calage peuvent s'appuyer sur le fond scan 25 si on observe des changements de topographie, sur la carte des peuplements s'ils varient. On peut également vérifier si les gradients de réserve en eau et d'hydromorphie sont bien couverts par les transects au sein de ces unités.

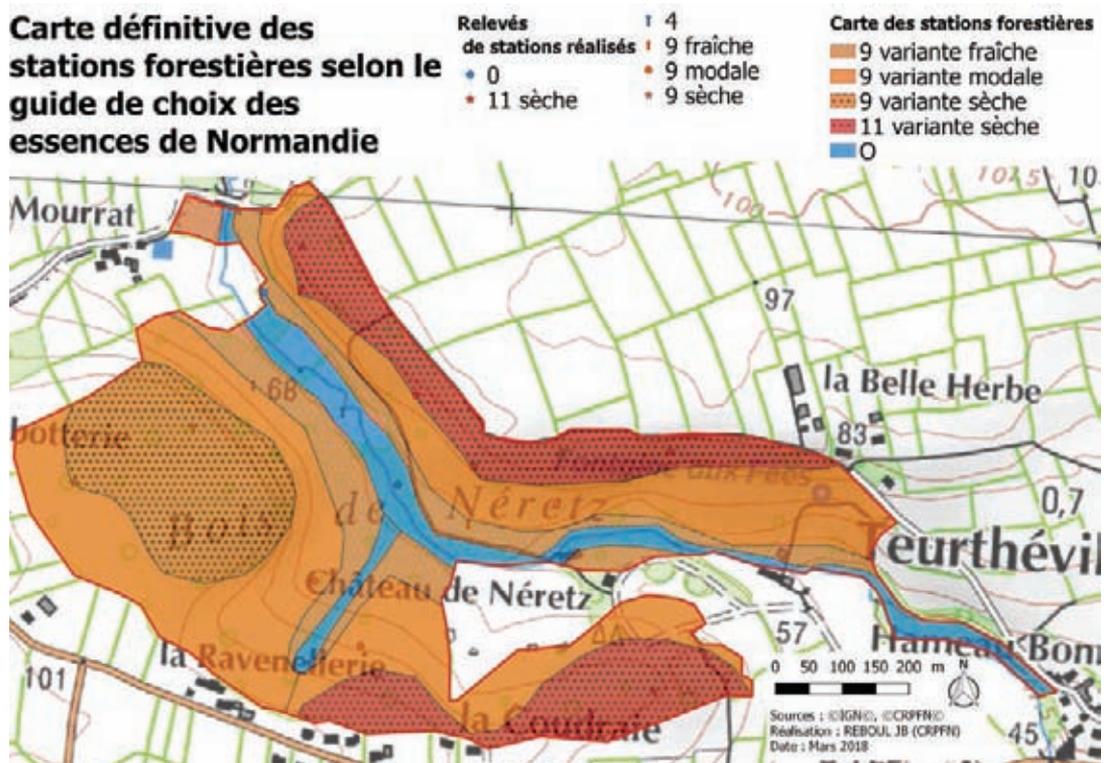
Phase de terrain

La phase de terrain doit permettre de réaliser la carte des stations forestières de la forêt étudiée avec suffisamment de précision. Le positionnement des transects et des points de relevés potentiels sur la carte sert uniquement de guide pour naviguer sur le terrain. La réalité du terrain amènera forcément l'opérateur à rajouter, déplacer ou éliminer des relevés potentiels pour améliorer la cartographie des stations forestières.

En effet, il peut être opportun de les déplacer pour plusieurs raisons :

- Station non homogène ou trop petite ;
- Transition entre deux peuplements radicalement différents ;
- Bordure de chemin ou cloisonnement fréquenté ;
- Redondance des relevés au sein d'une même station apparente ;
- Affiner la cartographie surtout si la pré-cartographie se révèle trop imprécise ;
- Inventorier la diversité complète des conditions stationnelles (notamment topographie) ;
- Comprendre une zone soudaine de chablis ou de dépérissement important ...

Plusieurs informations essentielles doivent être collectées, pour aboutir à une bonne localisation et détermination des unités et variantes de ce guide. Ces éléments sont regroupés dans une fiche de relevés de terrain (chapitre 3). La localisation des relevés de terrain est cruciale. En effet, la précision de la cartographie des stations forestières dépend pour beaucoup de la localisation des relevés. Pour localiser les relevés, les outils pouvant être utilisés, sont classés ci-après, par ordre décroissant de précision : boîtier DGPS (très cher), boîtier GPS, application GPS sur smartphone, topofil et boussole (peu précis et chronophage).



Traitement des données et réalisation de la carte des stations

Dès la fin des relevés de terrain, l'opérateur doit avoir compris le fonctionnement général et la répartition des stations forestières sur la forêt étudiée. Si ce n'est pas le cas, le tracé de la cartographie sera hasardeux sauf si des relevés supplémentaires sont réalisés. De retour au bureau, les coordonnées GPS sont transférées dans un SIG (système d'information géographique). Puis elles sont incrémentées des unités/variantes de ce guide déterminées sur le terrain. La projection des relevés à l'écran doit permettre de faciliter le tracé de la carte et de détecter d'éventuelles erreurs de détermination.

Le tracé de la carte s'appuie sur les contours de la pré-cartographie des stations, les courbes de niveaux, les cours d'eau, les gradients de réserve en eau ou d'engorgement, les limites des peuplements, la géologie... Lorsque la première version de la carte des stations est tracée, il peut être nécessaire de réaliser des ajustements et simplifications pour rendre la carte plus opérationnelle. En effet, des US/variantes très petites sur la carte peuvent parfois être regroupées avec leur voisine s'il y a une réelle cohérence stationnelle et économique. Une seconde visite sur le terrain aide à valider localement la carte produite, lorsque des doutes persistent.

La pré-cartographie ne vaut pas carte définitive des stations forestières. Sa précision varie en fonction des contextes géologiques et de la qualité de leur description. La pré-cartographie est un outil précieux pour diminuer le temps de réalisation d'une cartographie des stations par un pré-zonage du contexte stationnel, même s'il existe des décalages (décalage des limites dans l'espace, décalage du niveau trophique prévu...).

Une campagne sur le terrain préparée, comme défini précédemment est plus que nécessaire !

► LES NOMBREUSES DÉCLINAISONS POSSIBLES D'UNE CARTE DES STATIONS FORESTIÈRES

La carte des stations forestières, en s'aidant du présent guide de choix des essences peut être déclinée en de nombreuses cartes thématiques, qui faciliteront la gestion forestière comme : la sensibilité des sols au tassement ; la sensibilité des sols à l'exportation des rémanents ; la fertilité des stations forestières ; l'adéquation des essences aux stations forestières...

Ces cartes aident ensuite à l'aménagement de la forêt.

