

Prise en compte
du changement
climatique dans
les guides et
catalogues de
stations :
première approche



GAUDIN (S.) – Prise en compte du changement climatique dans les guides et catalogues de stations : première approche. CRPF de Champagne-Ardenne, Châlons-en-Champagne, 2007, 16 p. et annexes.

La version électronique de ce document peut être téléchargée sur le site du CRPF de Champagne-Ardenne : <http://www.crpffr/crpfchampagne/index.html>

Prise en compte du changement climatique dans les guides et catalogues de stations : première approche



Hêtre ayant perdu une partie de ses feuilles durant l'été 2003 (sur l'unité stationnelle 3 des Plateaux calcaires).

Les changements climatiques vont durablement bouleverser la manière de travailler des forestiers dans les années futures. En effet, les premières modélisations de l'évolution du climat indiquent que les changements à venir se feront à une échelle de temps très rapide au regard des durées de production forestière (Déqué, 2004). Partant de ce constat, il est impératif d'anticiper au mieux les évolutions afin de limiter les problèmes. Plusieurs approches ont déjà été réalisées. L'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises a, par exemple, été modélisée et cartographiée (Badeau *et al.* 2004). Ce travail permet de visualiser, à l'échelle du territoire national, les grandes évolutions que pourront connaître les peuplements et les essences qui les composent. Cette approche fort instructive reposant sur des variables climatiques régionales, elle ne peut donc prendre en compte les aspects stationnels locaux (topographie, réserve en eau, richesse minérale, mésoclimat...).

La station forestière est l'unité écologique de base sur laquelle s'appuient les forestiers pour tout ce qui concerne les essences (choix pour le renouvellement, dosage lors des martelages...) (Gaudin, 2006). C'est donc à son échelle que doivent être prises les décisions concernant les essences, notamment en termes de prévision face au réchauffement (Legay et Mortier, 2006 ; Six, 2006).

À l'occasion de la préparation d'un nouveau guide simplifié des stations concernant l'Argonne (région naturelle située aux confins de la Champagne-Ardenne et de la Lorraine), il a été décidé de tenter une première approche pour prendre en compte concrètement les changements climatiques à venir. Il est en effet désormais impossible de se contenter de simplement énumérer les essences présentes ou introduites usuellement. De même, se réduire à conseiller des essences à leur optimum stationnel actuel (Six, 2007 ; Aussenac et Guehl, 2005), même si cela relève d'un évident bon sens, ne sera sans doute pas suffisant. Une réflexion doit se faire pour vérifier, au cas par cas, la bonne adéquation entre les essences et les stations. Une première approche est présentée ici.

I. Présentation de la méthode

La méthode suivie a été formalisée dans cette première partie. Cela permettra de détailler les différentes étapes et de comprendre les choix qui ont été faits. Ainsi, les approximations qui ne sont pas satisfaisantes pourront être retravaillées par la suite. Chacun pourra juger de la possibilité d'extrapoler ce qui a été fait pour ses propres documents d'aide au choix des essences.

I.1. Principe

La méthode qui a été retenue est schématisée sur la figure 1. Les différentes étapes à mettre en œuvre sont détaillées dans les paragraphes qui suivent. L'objectif final est de passer –pour chaque unité stationnelle– de la liste d'essences actuellement préconisée (qui ne tient pas compte des changements climatiques) à une nouvelle liste qui les intègre, au mieux des connaissances actuelles. Afin que chaque étape se comprenne aisément, le guide des stations des *Plateaux calcaires de l'Aube et de la Haute-Marne* (Milard, 2004) sera pris comme exemple. Pour permettre au lecteur de visualiser les stations forestières de cette zone, sans nécessairement posséder ce document, un tableau synoptique est présenté en annexe I.

I.2. Présentation des étapes

I.2.1. Prise en compte des évolutions climatiques à l'échelle de la région naturelle

En raison des risques encourus liés au changement climatique, les évolutions potentielles du climat ont été modélisées à l'échelle de la France. Ces modèles dépendent fortement des scénarios con-

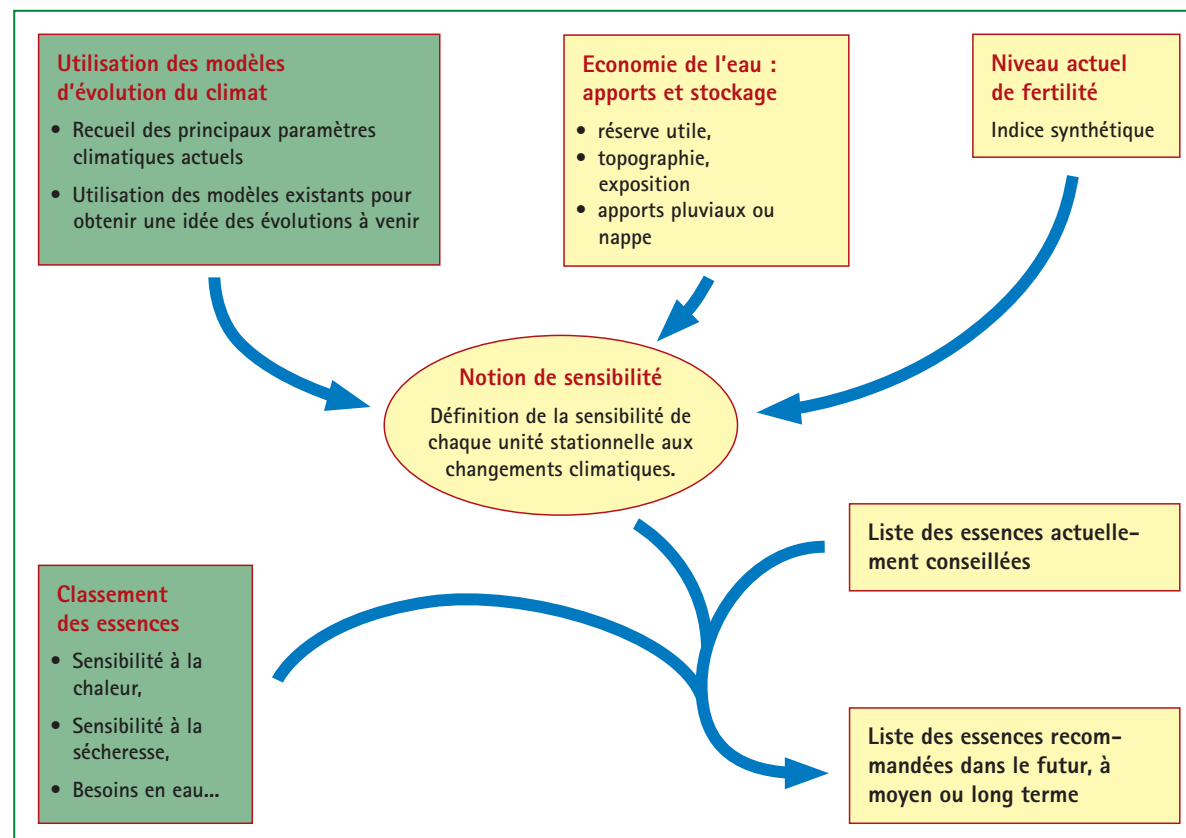


Figure 1. Présentation schématique de la méthode proposée pour prendre en compte le changement climatique dans les guides et catalogues de stations. Les encadrés sur fond jaune concernent des étapes qui doivent se faire au niveau de chaque unité stationnelle. Un fond vert correspond à une étape à réaliser au niveau de la région naturelle.

cernant les émissions futures de gaz à effet de serre et les modes de développement qui seront suivis. Par exemple, la figure 2 présente des évolutions possibles. Le scénario A2 est pessimiste en ce qui concerne notre capacité à réduire de manière efficace nos productions de gaz à effet de serre et donc à limiter le réchauffement climatique. En utilisant des données similaires, il est possible d'avoir une idée de ce que pourrait être le climat dans un siècle¹ sur la zone d'étude. Les figures 3 et 4 permettent de comparer les données climatiques actuelles (données réelles correspondant à la ville

de Chaumont, en Haute-Marne) et une évolution possible fournie par le modèle ARPEGE.

Le climat actuel sur cette zone est caractérisé par une pluviométrie assez importante pour une région de plaine avec un total de précipitations voisin de 900 mm qui sont bien répartis dans l'année. Bien que les températures hivernales puissent être froides et la saison de végétation assez courte, ce climat est considéré comme favorable à la végétation forestière. Il autorise une bonne production, même sur des sols peu profonds.

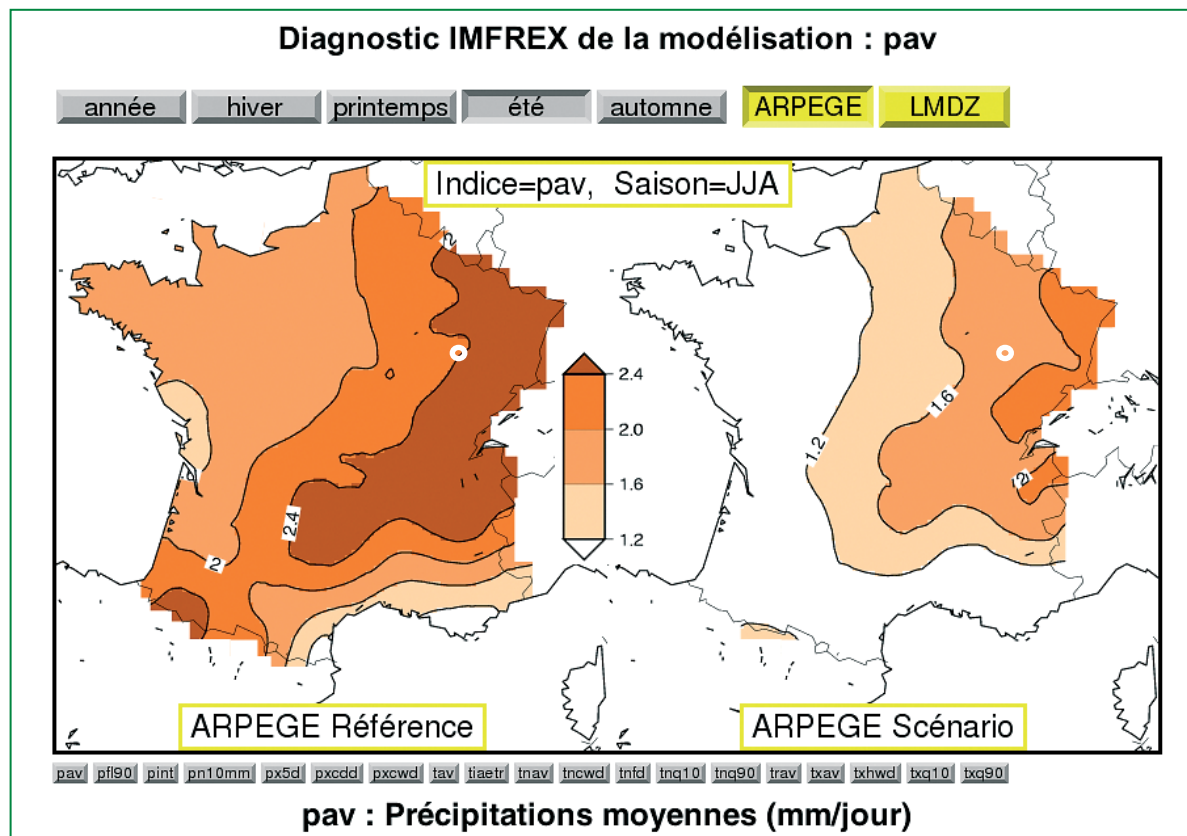


Figure 2. Précipitations moyennes journalières estivales que nous pourrions connaître en 2100 (carte de droite) par rapport à ce qui se passe actuellement (carte de gauche) en utilisant le modèle ARPEGE et en suivant le scénario A2. La ville de Chaumont est repérée sur la carte par un rond blanc.

Source Météo France, <http://medias.cnrs.fr/imfrex/web/resultats/diagmod/>

Dans un siècle, l'évolution sera vraisemblablement² la suivante :

- augmentation des températures en toute saison,
- augmentation légère des précipitations annuelles avec plus de pluies en automne et en hiver et moins l'été.

Au-delà de ces premières constatations, les sécheresses seront aussi plus fréquentes (le nombre maximal de jours secs consécutifs pourra passer de moins de vingt actuellement à vingt-cinq dans un siècle). De plus les périodes de canicule seront beaucoup plus fréquentes qu'actuellement.

De manière générale, ce climat sera nettement moins favorable à la végétation forestière. Les engorgements hivernaux pourront être plus longs et plus intenses. Les déficits hydriques estivaux seront plus marqués (augmentation de l'ETP, diminution des pluies en saison de végétation). Les épisodes extrêmes défavorables aux arbres seront plus fréquents.

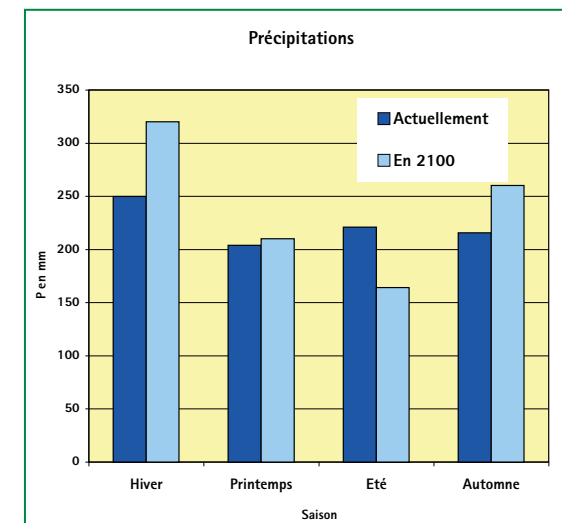
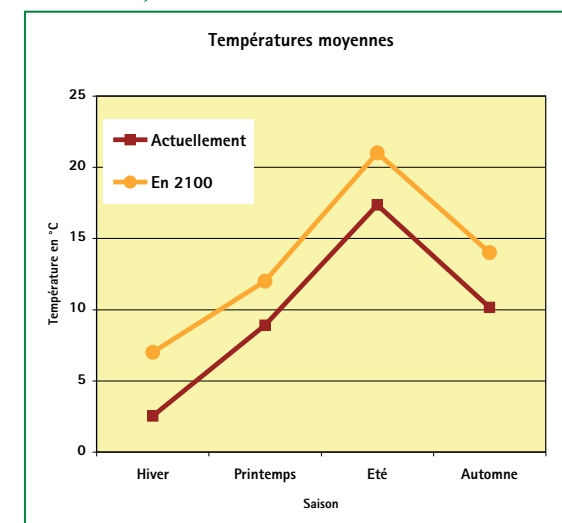


Figure 3. Précipitations saisonnières actuelles et précipitations supposées dans un siècle (modèle ARPEGE, scénario A2).

Figure 4. Températures moyennes actuelles et températures supposées dans un siècle (modèle ARPEGE, scénario A2).





Le climat attendu sur la zone à l'échelle du siècle, même si les prévisions actuelles peuvent encore fortement évoluer, implique de sérieux bouleversements à l'échelle régionale. Il est important d'appréhender la conséquence de ces changements au niveau de chaque station pour prendre les meilleures décisions possibles.

I.2.2. Economie de l'eau sur chaque station

I.2.2.1. Problématique

L'alimentation en eau des arbres dépend à la fois du climat (répartition des précipitations au cours de l'année, température...) mais aussi des caractéristiques physiques et fonctionnelles de la station (profondeur du sol, texture, position topographique, présence d'une nappe alluviale...). Dans une première approche, les caractéristiques physiques du milieu et son fonctionnement sont considérés comme stables dans le temps³.

Dans l'hypothèse d'un changement climatique, il est important de savoir pour une station donnée quelle est la part de la fertilité liée à la station (milieu physique) et celle due au climat. En les dissociant, il est ensuite possible de concevoir comment évolue cette fertilité globale à la suite d'un changement de climat.

Connaître l'économie de l'eau au niveau de chaque unité stationnelle, c'est-à-dire les apports et les pertes en eau ainsi que les possibilités de stockage, permet non seulement de déduire la sensibilité au changement climatique, mais aussi de comparer les stations entre elles. La difficulté réside dans la définition de règles ou de paramètres suffisamment universels pour pouvoir être appliqués à chaque cas, mais également suffisamment précis pour créer une hiérarchie réaliste des types de stations.

I.2.2.2. Solutions proposées

Dans un premier temps, les paramètres les plus fondamentaux et les plus synthétiques ont été recherchés pour cibler au mieux l'économie de l'eau des stations. Les critères suivants ont été retenus :

- la réserve utile maximale du sol,
- la position topographique,
- l'exposition,
- la présence éventuelle d'une nappe,
- la fréquence des engorgements temporaires.

La **réserve utile** est un paramètre très synthétique qui tient compte à la fois de la profondeur du sol, des textures, de la charge en cailloux et des possibilités d'enracinement. Elle est assez aisée à calculer sur un cas concret en forêt, mais plus difficile à synthétiser à l'échelle d'un type de station.

La **position topographique** intervient également dans le bilan de l'eau. Certaines positions (som-

met de versant, par exemple) correspondent à des zones de perte. D'autres au contraire (fond de vallon), sont des zones d'accumulation.

L'**exposition**, dès que les versants sont marqués, joue également un rôle. L'évapotranspiration est limitée sur les versants froids alors qu'elle est très forte sur les versants chauds.

La présence d'une **nappe alluviale** est un cas très particulier d'alimentation en eau. Contrairement aux stations sur lesquelles l'apport d'eau est uniquement météoritique, les stations alluviales bénéficient d'un réservoir très important. Selon la profondeur de cette nappe en saison de végétation, l'alimentation sera plus ou moins bonne. Les stations à nappe permanente possèdent par définition une excellente réserve. Cependant cet engorgement permanent va de pair avec un nombre restreint d'essences possibles capables de supporter ces conditions extrêmes.

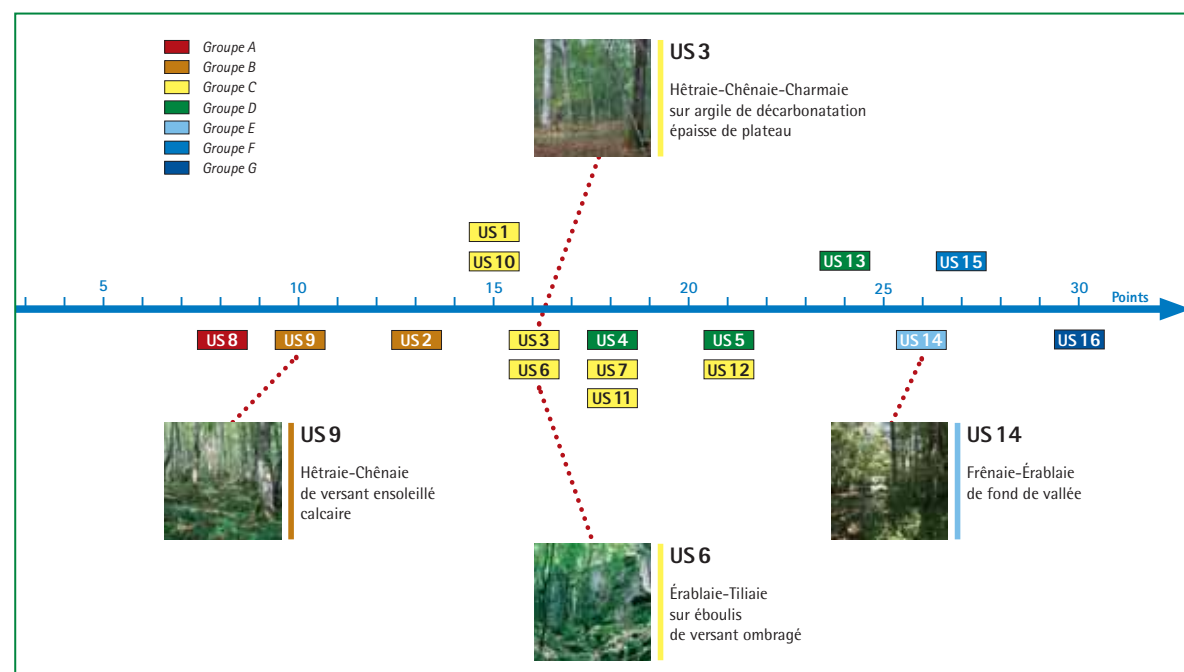


Figure 5. Classement des stations du guide des Plateaux calcaires en ce qui concerne l'économie de l'eau selon une approche par attribution de points et une approche par clef.

Les changements climatiques conduiront vraisemblablement à une augmentation des pluies hivernales et par conséquent à une augmentation des engorgements hivernaux sur les sols à **hydro-morphie temporaire**. Ces engorgements hivernaux peuvent limiter l'enracinement de certaines essences et diminuer la zone prospectée, donc leur réserve en eau. Ce phénomène n'est pas nécessairement facile à quantifier.

Deux solutions ont été essayées pour classer les stations en fonction des paramètres cités ci-dessus. La première s'appuie sur un système d'attribution de *points* (annexe II) ; la seconde repose sur une *clef* (annexe III). Ces deux approches ont été mises en œuvre sur les stations des Plateaux calcaires de l'Aube et de la Haute-Marne. Le bilan du classement des unités stationnelles selon chaque approche est résumé sur la figure 5.

Il y a une bonne convergence des deux méthodes pour résumer l'économie de l'eau de ces stations. Les hiérarchies obtenues selon une méthode ou une autre sont cohérentes. Dans la mesure où les paramètres utilisés sont globalement les mêmes, ce résultat est logique.

Ces classements sont assez synthétiques et des stations ayant des physionomies fort différentes peuvent obtenir une même note, ou être mises dans le même groupe. C'est par exemple le cas de l'US3 (station de plateau sur sol moyennement profond à chêne et à hêtre) et de l'US 6 (station de versant nord sur éboulis à érable et à tilleul). Cela résulte de classements qui prennent en compte de nombreux paramètres et un facteur favorable dans un cas peut être compensé par un autre

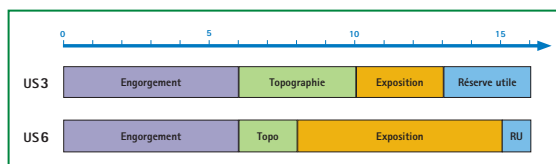


Figure 6. Détail des notes obtenues pour les unités stationnelles 3 et 6 des Plateaux calcaires.

dans l'autre cas. Pour ces deux unités stationnelles choisies comme exemple, la valeur des différents paramètres pris en compte est schématisée sur la figure 6.



Deux approches permettent de classer les stations d'un guide ou d'un catalogue selon leur économie de l'eau en faisant abstraction du climat. Elles sont cohérentes entre elles.

I.2.2.3. Limites et améliorations à apporter

Les systèmes testés reposent tous deux sur la synthèse des éléments fournis dans les guides et catalogues de stations régionaux et sur des constatations de terrain. Aucune donnée quantifiée concernant les flux d'eau (évapotranspiration, ruissellement, remontée capillaire, dynamique de nappe...) n'a été utilisée. Il s'agit là de la principale limite. Sans données précises, il est par exemple difficile d'être certain que le poids donné à la réserve utile (note allant de 0 à 14) est réel par rapport à celui donné à la topographie (note allant de 1 à 10) ou celui donné à l'exposition (note allant de 0 à 7).

En ce qui concerne en particulier l'approche par attribution d'une note, les problèmes suivants peuvent être évoqués :

- le système apparaît précis, mais n'a pas de fondement quantitatif. Les résultats obtenus sont donc à lire avec précaution,
- les interactions possibles entre paramètres ne peuvent pas être prises en compte avec ce système de notes (par exemple, la réserve utile a-t-elle autant de poids sur plateau ou dans des milieux alluviaux parcourus par une nappe ? De même, les possibilités de remplissage ou de stockage de la réserve utile sont-elles identiques sur plateau ou sur forte pente ?).

Pour ce qui est de l'approche par clef, elle apparaît *a priori* comme moins précise (mais la préci-

sion de l'approche par note est illusoire). Il serait cependant possible d'affiner la clef et d'y introduire plus de critères. Cela reviendrait rapidement à créer de nombreuses classes supplémentaires (il y en a actuellement 7, notées de A à G). Un système utilisant des clefs présente l'avantage de permettre des combinaisons de facteurs (par exemple, les seuils de réserves utiles ne sont pas identiques selon l'exposition).

Une troisième solution (non testée) pourrait être de combiner les approches par points et par clef. Cela permettrait de concilier les avantages des deux méthodes. Ce travail n'aurait toutefois de réel sens que s'il est précédé d'une meilleure connaissance des fondements des phénomènes étudiés (flux d'eau).



Les deux approches testées souffrent d'un certain manque de précision. Pour gagner à la fois en fiabilité et en précision, il serait impératif de connaître les flux d'eau au sein de chaque unité stationnelle.

I.2.3. Le niveau de fertilité défini dans le catalogue

Au paragraphe précédent, il a été possible de définir une hiérarchie sur l'économie de l'eau entre stations d'une même région naturelle. Il existe aussi dans la plupart des catalogues ou des guides un *indice synthétique de fertilité* qui permet également le classement des stations. En général, cet indice tient compte :

- du niveau trophique,
- de l'alimentation en eau (apports, réserve...),
- de facteurs limitants (engorgement, carbonatation...).

L'indice est présenté soit sous forme graphique (figure 7), soit sous forme de commentaire (par

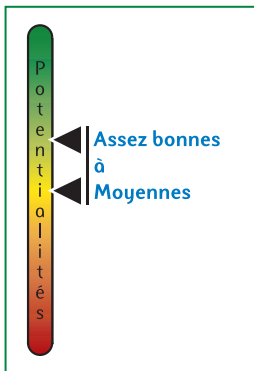


Figure 7. Exemple de représentation graphique de la fertilité globale pour les Plateaux calcaires (US3).

exemple : « station fertile à très fertile »). Même s'il fait une synthèse s'appuyant sur de nombreux critères, il sera intéressant de le mettre en relation avec l'économie de l'eau. Cela ne sera possible qu'en tenant compte uniquement de la composante liée à l'eau présente dans cet indice. Autrement dit, il faut pouvoir faire abstraction des informations d'ordre trophique ou liées à des facteurs limitants.

Par exemple, l'unité stationnelle 5 du guide des Plateaux calcaires a une fertilité globale qualifiée de « moyenne à très bonne » ce qui laisse une assez grande marge d'appréciation. En considérant en détail les stations de cette unité, il apparaît que ce sont essentiellement les variations de niveau trophique qui induisent l'hétérogénéité (l'humus peut varier du mésomull à l'eumoder). Comme par ailleurs la réserve utile est importante, la charge en cailloux est faible, la position topographique et l'exposition sont neutres ou favorables, le niveau de fertilité actuel en ne prenant en compte que l'alimentation en eau (milieu physique et climat) peut être qualifié de « bon à très bon ».



Il existe dans les guides et catalogues une estimation synthétique de la fertilité globale pour chaque station. Elle peut être mise en relation avec la hiérarchie sur l'économie de l'eau obtenue

auparavant. La confrontation des deux a pour objectif de définir les stations les plus fragiles par rapport au réchauffement.

I.2.4. Définition de la sensibilité au changement climatique sur chaque unité stationnelle

Il est possible pour un guide ou un catalogue donné, de compiler ou de déterminer une série d'informations :

- le classement concernant l'économie de l'eau pour les différentes stations,
- l'indice global actuel de fertilité pour chaque unité stationnelle,
- les évolutions prévisibles du climat à l'échelle du siècle.

C'est l'analyse conjointe de ces trois familles d'informations qui va permettre de déterminer le degré de sensibilité de chaque unité stationnelle au changement climatique. Ce travail a été réalisé pour les stations du guide des Plateaux calcaires. Il est résumé dans le tableau 1.

La première colonne reprend la liste des unités stationnelles. Les deux suivantes correspondent aux résultats synthétiques concernant l'économie de l'eau au niveau de la station. La quatrième résume le niveau actuel de fertilité (de • très faible à ••••• très bon). Dans la mesure du possible, seule l'alimentation hydrique (milieu physique et climat) a été prise en compte. La cinquième colonne indique la sensibilité au changement climatique (elle est remplie grâce au tableau fourni en annexe IV). Par exemple, pour l'unité stationnelle 8, la sensibilité est considérée comme faible. Cela résulte notamment d'un classement concernant l'économie de l'eau en cohérence avec la fertilité telle qu'elle est actuellement définie dans le guide. Les apports d'eau liés au climat actuel ne peuvent pas sur cette station compenser des conditions

de milieux très contraignantes. Ces stations ont d'ores et déjà un potentiel très limité et les conditions y sont très difficiles pour les arbres. Une sensibilité faible induit ici peu de risques en ce qui concerne les essences en place. Le chêne pubescent restera présent. La xéricité du milieu sera seulement encore plus forte.

Une sensibilité faible peut également concerner des stations ayant un bon potentiel de production. C'est le cas de l'unité stationnelle 15. L'alimentation en eau provenant en partie d'une nappe alluviale, c'est une station qui est moins sensible. Sous réserve d'utiliser des essences supportant les conditions de milieu (par exemple de l'aulne glutineux, du frêne ou certains clones de peuplier), en première approche il y a peu de risques de changement.

À l'opposé, l'unité stationnelle 3 présente une forte sensibilité. En effet, même avec une note d'économie de l'eau assez faible, les potentialités y sont bonnes. Cela signifie qu'une partie de la fertilité de ces stations est actuellement due à un climat qui permet de compenser la faible capacité du milieu d'alimenter en eau les arbres en période de végétation (précipitations assez importantes en saison de végétation, températures estivales pas trop marquées, périodes de canicules peu fréquentes).

Les hêtraies d'exposition froide (US7) sont également considérées comme sensibles. Cette considération résulte là aussi, d'un décalage entre la fertilité actuelle et le potentiel d'alimentation en eau de la station. Dans ce cas, il est intéressant à nouveau de se poser la question du choix des notes. L'exposition froide d'ubac a-t-elle été suffisamment prise en compte ? L'effet mésoclimatique restera-t-il assez puissant face à un réchauffement global du climat ? La faible fréquence de hêtraies froides dans l'Aube et leur très faible représentation dans les Plateaux calcaires situés plus au sud (en ayant comme référence la Haute-Marne, qui présente actuellement le climat le plus froid et le

Unité stationnelle	Note (réserve et alimentation en eau)	Classement selon la clef	Fertilité globale (d'après le guide des stations)	Sensibilité au changement climatique
US1	15	Groupe C	●●	moyenne
US2	13	Groupe B	●●	moyenne
US3	16	Groupe C	●●●●	forte
US4	18	Groupe D	●●●●●	forte
US5	21	Groupe D	●●●●●	moyenne
US6	16	Groupe C	●●●	moyenne
US7	18	Groupe C	●●●●●	forte
US8	8	Groupe A	●	faible
US9	10	Groupe B	●	faible
US10	15	Groupe C	●●●●	forte
US11	18	Groupe C	●●	moyenne
US12	21	Groupe C	●●●●	moyenne
US13	24	Groupe D	●●●●●	moyenne
US14	26	Groupe E	●●●●●	moyenne
US15	27	Groupe F	●●●	faible
US16	30	Groupe G	●●	faible

Tableau 1. Sensibilité au changement climatique pour les unités stationnelles du guide des Plateaux calcaires.

plus arrosé de cette zone) n'incitent pas à l'optimisme.

La lecture globale de ce tableau montre qu'il existe pour certaines stations une composante climatique forte à l'origine de leur fertilité. Ce sont notamment des précipitations assez abondantes et bien réparties dans l'année, accompagnées de températures estivales pas trop chaudes, qui sont à l'origine de cela. Le climat futur devant être nettement moins favorable aux essences actuellement en équilibre avec ces conditions, la sensibilité au

réchauffement est considérée comme forte et les risques pour les peuplements actuels élevés. Une station présentant un risque fort ne va pas nécessairement connaître une fertilité future plus faible que celle d'une station n'ayant qu'une sensibilité moyenne ou faible. Cela signifie seulement que le cortège d'essences actuellement présent pourra être plus fortement modifié par les changements à venir.



À l'aide de divers paramètres, il est possible de déduire pour les stations d'un guide, différents degrés de sensibilité au changement climatique. Plus une station est sensible, plus il sera nécessaire de vérifier la bonne cohérence entre les peuplements actuellement en équilibre et les conditions qu'ils pourront connaître dans le futur.

1.2.5. Les essences présentes ou possibles et leur comportement face au climat

Dans ce qui précède, seuls le biotope et le climat ont été analysés. Il est bien entendu nécessaire de s'intéresser aux essences constituant actuellement les peuplements forestiers et à celles qui pourront les accompagner dans le futur. En effet, c'est l'adéquation entre la station et les exigences des essences qui permet d'arriver à un bon équilibre.

Le tableau 2 présente une tentative de classement des essences en fonction de leurs préférences climatiques. Il s'agit d'un premier tri. Certains groupes présentent une assez forte hétérogénéité et rassemblent des essences aux comportements parfois assez différents, non seulement au point de vue climatique, mais surtout en ce qui concerne les exigences stationnelles (réaction au calcaire, besoins trophiques, tolérance de l'hydromorphie). Les caractéristiques des groupes sont :

- **Groupe 1.** Il s'agit d'essences de l'étage montagnard (voire subalpin) qui demandent une assez forte humidité atmosphérique et des précipitations importantes. Leur introduction en plaine est controversée (problèmes sanitaires, conditions limites pour les exigences climatiques). Le sapin pectiné et l'épicéa apparaissent d'emblée comme sensibles au changement climatique.
- **Groupe 2.** Ce groupe réunit des essences qui, bien que présentes en plaine, ont des affinités

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Epicéa Sapin pectiné	Douglas Hêtre Érable sycomore Orme de montagne	Aulne Bouleau pubescent Saules Frêne Orme lisse Cerisier à grappes Peupliers de culture Tremble Grisard Chêne pédonculé	Chêne sessile Tilleul à petites feuilles Tilleul à grandes feuilles Érable plane Charme Merisier Châtaignier Bouleau verruqueux Orme champêtre Erable champêtre Noisetier Chêne rouge Pommier, Poirier Pin sylvestre Noyers	Alisier blanc Alisier torminal Cormier Chêne pubescent Robinier Pin laricio Pin noir d'Autriche

Tableau 2. Essai de classement des essences en fonction de leurs préférences climatiques.

montagnardes. Elles ont des exigences assez élevées en ce qui concerne l'humidité atmosphérique. Elles sont *a priori* sensibles à un réchauffement du climat. Les travaux sur l'évolution de l'aire climatique du hêtre (Badeau *et al.*, 2004) illustrent cela.

- **Groupe 3.** Il s'agit d'essences qui ont des exigences plus ou moins marquées en ce qui concerne l'alimentation en eau dans le sol. Elles sont donc sensibles à une rupture de cette alimentation et peuvent être fortement touchées par des sécheresses estivales. Certaines se sont disséminées (le frêne, par exemple) ou ont été introduites ou favorisées (comme le chêne pédonculé) sur des milieux qui ne sont pas optimaux. Si le climat compense dans certains cas la faiblesse de l'alimentation en eau, son évolution risque de provoquer de très sérieux problèmes.
- **Groupe 4.** Les essences de ce groupe peuvent, à des degrés divers, supporter des périodes avec

une rupture de l'alimentation en eau. Elles sont *a priori* moins fragiles que celles des groupes 1, 2 et 3.

- **Groupe 5.** Ces essences ont pour certaines un comportement plus ou moins thermophile et des affinités subméditerranéennes. Elles ont toutes une certaine faculté à supporter la chaleur et la sécheresse estivale.

Certaines essences peu ou pas présentes dans la région n'ont pas été classées (par exemple le Mélèze, le Sapin de Nordmann ou le Cèdre de l'Atlas). Elles pourront être éventuellement positionnées par la suite.

Ce classement rapide correspond à une première approche destinée à éviter les principaux pièges que produira le réchauffement du climat. Pour chaque essence, il sera ensuite nécessaire d'affiner les particularités autécologiques ou physiologiques (date de débourrement et risque de dégâts de gelées, par exemple). Par ailleurs, les possibili-

tés d'*adaptation* des essences au changement climatique (au niveau de l'individu, de la population ou de l'espèce) n'ont pas été prises en compte.



Il est possible de classer sommairement les essences en fonction de leur comportement vis-à-vis de l'eau et du climat. Ce classement permet ensuite d'aider à la définition des choix d'essences en fonction des unités stationnelles.

1.2.6. La liste des essences conseillées actuellement

La figure 8 présente un exemple de tableau de choix des essences pour une unité stationnelle. Ce choix est obtenu en croisant les connaissances actuelles sur l'autécologie des essences avec les caractéristiques de la station (niveau trophique, alimentation en eau, mésoclimat, hydromorphie...). Jusqu'à présent, le climat a été la plupart du temps supposé stable lors de la rédaction de ces rubriques des guides. Quelques mises en garde sur certaines essences ont parfois été faites (Milard, 2004), mais le problème n'était pas considéré dans son ensemble.

Le choix actuel des essences, même s'il présente peu de gages de pérennité, constitue une base de travail pour les choix futurs. Les préconisations des guides sont par exemple en accord avec le niveau trophique de la station ou tiennent compte de facteurs limitants typiques (carbonatation et hydromorphie, par exemple).

Dans le cas du guide des Plateaux calcaires, afin d'aider le sylviculteur dans sa décision, les choix d'essences ont été nuancés de plusieurs manières. L'objectif est de permettre de mieux intégrer la réflexion sur les essences dans une dynamique sylvicole globale. De nombreuses approches ont été essayées dans ce sens (Forêt et Dumé, 2006).

En ce qui concerne la figure 8 (Milard, 2004) :

Essences à favoriser

Essences naturellement présentes

But productif

Hêtre

Alisiers blanc et torminal

Cormier

Erables plane et sycomore

Merisier p 81

But cultural, biologique

Erable champêtre

Tilleul à grandes feuilles

Chêne sessile p 79

Charme

Tilleul à petites feuilles p 83

Chêne pédonculé p 79

Frêne p 82

Noyer commun p 84

Introductions possibles

En plein

Mélèze d'Europe

Douglas p 85

Sapin pectiné p 87

Pin laricio de Calabre p 87

Pin noir d'Autriche p 86

Pin sylvestre p 86

Ponctuellement

Sapin de Nordmann p 87

Tentations à éviter

Le **chêne rouge**, en raison de sa qualité médiocre.

Les **essences demandant une bonne alimentation en eau** (frêne...).

Le **douglas** sous certaines conditions (voir p 85).

L'**épicéa**, qui est en limite climatique, ne trouvera pas des conditions optimales: son installation risque d'être accompagnée de problèmes de qualité, de croissance ou d'ordre phytosanitaire.

Figure 8. Choix des essences pour l'unité stationnelle 3 du guide des Plateaux calcaires.

- « le cadre sur **fond vert** *Essences à favoriser* est constitué de deux parties. La première concerne les essences indigènes. Elles sont classées selon l'objectif visé :
- un **but productif**. Dans ce cas l'essence pourra être choisie lorsque l'on envisage d'effectuer des plantations ou une régénération naturelle. Elle pourra être utilisée pour un boisement en plein lorsque son nom figure en gras (généralement les essences sociales : les chênes, le hêtre...) ou uniquement de manière ponctuelle dans le cas contraire (enrichissement en feuillus précieux, essences secondaires en mélange, essences asociales...),

- un **but cultural, biologique**. C'est le cas d'essences d'accompagnement ayant une faible valeur marchande, d'essences à la limite de leurs exigences, ou encore d'essences présentant un intérêt patrimonial. La plantation des essences citées peut être envisagée, mais seulement de manière ponctuelle. Les essences notées en italique pourront être conservées mais leur plantation n'est pas conseillée.
- La seconde partie concerne les introductions possibles d'essences *exotiques*. Elles sont classées en deux groupes, celles qui peuvent être utilisées pour des boisements en plein, et celles qui ne peuvent être plantées que ponctuelle-

ment. La réussite des plantations d'essences dont le nom figure en italique n'est pas garantie, en raison d'un manque de connaissance sur leur comportement sur les Plateaux calcaires, ou tout simplement car leur rentabilité n'est pas assurée.

Le nom de certaines essences est suivi d'un numéro de page. Cela indique qu'il existe des restrictions concernant l'utilisation de cette essence. Ces restrictions sont liées à la situation géographique, à une réserve sur la qualité du bois, à un risque climatique... Il est donc fortement recommandé dans ce cas, et préférable d'une manière générale, de se reporter à la page indiquée, afin de prendre connaissance de l'autécologie de l'essence et de son comportement sur les Plateaux calcaires.

- le cadre sur **fond rouge** *Tentations à éviter* ne constitue pas une liste d'arbres (qui serait incomplète). Il est présenté de manière à exclure un certain nombre d'essences dont les besoins sont incompatibles avec les propriétés du milieu. Des données sur l'autécologie des principales essences figurent à la fin du guide et permettent de déduire les essences à éviter, selon leurs exigences.»



Dans chaque catalogue ou guide, les choix d'essences sont déclinés par station. Ces listes, même si elles ne tiennent pas encore compte des changements climatiques peuvent servir de point de départ. Elles intègrent notamment l'adéquation entre essences et particularités de la station (niveau trophique, profondeur du sol, textures, charge en cailloux, carbonatation, hydromorphie...).

I.2.7. La liste des essences recommandées dans le futur

L'objectif final de la méthode présentée ici est d'arriver à proposer une liste d'essences plus réaliste, en ce qui concerne l'évolution du climat. Les réflexions conduites ont abouti au constat qu'il était nécessaire de prendre en compte le facteur temps, ce qui n'était pas le cas auparavant. Par exemple, une essence très proche de son terme d'exploitabilité ne court qu'un risque très faible en ce qui concerne l'évolution du climat. En revanche, un arbre qui est à plusieurs dizaines d'années de son exploitation normale connaîtra des changements plus ou moins marqués. Le problème est encore plus crucial quand il s'agit de renouveler les peuplements car étant donnée la durée du cycle de production des principales essences forestières, le pari sur certains choix peut être encore plus risqué.

Ainsi, contrairement à l'approche actuelle (fig. 8), il semble préférable de structurer les choix d'essences en fonction du temps. Un exemple de tableau est présenté en figure 9. La première colonne correspond aux essences actuellement présentes, qu'elles soient spontanées ou introduites. Il s'agit de l'état des lieux. Il ne comprend cependant pas les introductions réalisées qui sont visiblement inadaptées.

La seconde colonne indique les essences en station qui peuvent être retenues ou privilégiées ainsi que celles susceptibles de poser des problèmes à moyen terme (une cinquantaine d'années, pour donner un ordre de grandeur). Cela concerne donc surtout des arbres qui sont jeunes ou dans la force de l'âge (petits bois et bois moyens) et plus rarement des plantations ou des régénérations naturelles d'essences à rotation courte. La notion de *risque*⁴ a été introduite dans cette colonne. Elle donne une indication forte au sylviculteur, même s'il ne s'agit que d'une mise en garde sur des risques potentiels :

Essences présentes actuellement	Gestion à moyen terme	Gestion à long terme (renouvellement)
Essences majoritaires Hêtre Chêne sessile Chêne pédonculé Charme Essences disséminées Alisiers blanc et torminal Cormier Érable champêtre Tilleul à petites feuilles Tilleul à grandes feuilles Érables plane et sycomore Merisier Frêne Cormier Essences introduites Pin noir d'Autriche Pin sylvestre Épicéa Douglas	Risque modéré ● Alisiers blanc et torminal ● Cormier ● Érable champêtre ● Pin sylvestre ● Pin noir d'Autriche Risque moyen ● Chêne sessile ● Charme ● Tilleul à petites feuilles ● Tilleul à grandes feuilles ● Merisier ● Hêtre ● Érable plane Risque élevé ● Épicéa ● Douglas ● Érable sycomore ● Frêne ● Chêne pédonculé ● Noyer commun	En plein Pin noir d'Autriche Pin sylvestre Pin laricio <i>Cèdre de l'Atlas</i> <i>Sapin de Nordmann</i> Ponctuellement Alisiers blanc et torminal Cormier Érable champêtre Tilleul à petites feuilles Tilleul à grandes feuilles Chêne sessile Charme

Figure 9. Choix des essences tenant compte de l'évolution climatique pour l'unité stationnelle 3 des Plateaux calcaires. Les essences en italique sont allochtones et doivent par conséquent être testées avant toute introduction. Pour la plupart des essences de ce tableau, des précautions particulières liées à la fois aux facteurs du milieu, au climat et à la sylviculture devront aussi être précisées dans un chapitre annexe du guide (cf. figure 8).

risque de dépérissement, ou risque (*a priori* plus fréquent) d'une forte perte de productivité. Cette notion permet au sylviculteur de doser les essences présentes lors des martelages en favori-

sant par exemple des essences actuellement minoritaires, mais ne craignant pas trop les évolutions à venir. Cela doit également le conduire à de nouvelles orientations sylvicoles, si le peuplement est

composé d'une essence principale particulièrement sensible (par exemple, une plantation d'Épicéa sur une US3 des Plateaux calcaires⁵).

Dans certains cas, il sera nécessaire de remettre en cause des essences ayant une forte présence dans les peuplements. En règle générale, faute de connaissances précises sur l'autécologie ou sur les possibilités d'adaptation génétique aux changements, le mélange des essences sera plus que jamais conseillé.

La liste relativement réduite d'essences pouvant être plantées et le fait que certaines d'entre elles présentent un intérêt sylvicole limité doit provoquer une interrogation chez le sylviculteur sur ses pratiques. En effet, comme le pari est particulièrement risqué sur le long terme, il semble préférable de limiter au strict nécessaire les coupes rases suivies de régénération ou de plantation. Partir d'un peuplement constitué dans lequel seront éventuellement réalisés des enrichissements variés apparaît, par exemple, comme préférable.

Le remplissage de ce tableau mobilise les résultats des différentes étapes précédentes. Ainsi, l'unité stationnelle 3 des Plateaux calcaires présente un risque fort, inhérent à l'évolution climatique (cf tableau 1). En effet, son alimentation en eau et ses réserves en eau sont moyennes à faibles et une bonne partie de sa fertilité dépend d'apports météorologiques importants et bien répartis dans l'année. Cela signifie que certaines essences en place risqueraient fort de ne plus être adaptées dans quelques décennies. C'est le cas du hêtre qui est pourtant la principale essence présente sur ces stations.

Pour une unité stationnelle moins *fragile* (unité stationnelle 5 des Plateaux calcaires), les choix d'essences sont moins éloignés de l'état actuel (figure 10). En effet, cette unité stationnelle a été classée comme *moyennement sensible* au réchauffement. Elle diffère de l'unité stationnelle 3 par son sol nettement plus profond et une richesse

Essences présentes actuellement	Gestion à moyen terme	Gestion à long terme (renouvellement)
Essences majoritaires Hêtre Chêne sessile Essences disséminées Alisiers blanc et torminal Grands érables Chêne pédonculé Frêne Merisier Charme Noyer commun Tilleul à petites feuilles Chêne rouge d'Amérique Châtaignier Essences introduites Pin sylvestre Douglas Épicéa	Risque faible ● Chêne sessile ● Alisiers blanc et torminal ● Pin sylvestre ● Châtaignier Risque moyen ● Chêne sessile ● Hêtre ● Tilleul à petites feuilles ● Érable sycomore ● Érable plane ● Chêne rouge d'Amérique ● Douglas ● Merisier ● Charme ● Noyer commun Risque élevé ● Épicéa ● Sapin pectiné ● Chêne pédonculé ● Frêne	En plein Chêne sessile Pins (sylvestre, noir, Laricio) Chêne rouge d'Amérique Châtaignier <i>Cèdre de l'Atlas</i> <i>Sapin de Nordmann</i> <i>Mélèze</i> Ponctuellement Alisiers blanc et torminal Tilleul à petites feuilles Merisier Poirier, Pommier Hêtre Érable plane Érable sycomore Noyer commun

Figure 10. Choix des essences tenant compte de l'évolution climatique pour l'unité stationnelle 5 des Plateaux calcaires. Les essences en italique sont allochtones et doivent par conséquent être testées avant toute introduction. Pour la plupart des essences de ce tableau, des précautions particulières liées à la fois aux facteurs du milieu, au climat et à la sylviculture devront aussi être précisées dans le guide (cf. figure 8).

minérale parfois moins bonne (humus allant du mésomull à l'eumoder). C'est sa meilleure réserve en eau qui la rend moins fragile.

De manière générale, c'est l'examen, essence par essence, de l'adéquation entre station (milieu et climat) et autécologie qui permet de remplir ce

tableau. Là encore, certaines données sont imprécises et des choix ont parfois été faits sans qu'ils soient toujours suffisamment étayés. C'est pour cela qu'il ne s'agit que d'une première approche. Pour effectuer un choix d'essences le plus juste possible, il sera donc préférable de remanier régulièrement ces tableaux en fonction :

- des avancées concernant la prévision du climat ou du constat des premiers effets du réchauffement,
- des améliorations dans la connaissance du comportement des essences,
- des observations de terrain (risques sanitaires, résistance à la sécheresse meilleure que prévu...).



En valorisant les résultats des différentes étapes présentées sur la figure 1, il est possible de décliner les choix d'essences d'une unité stationnelle en tenant compte des changements climatiques. Cette première approche devra être affinée au fur et à mesure de la progression des connaissances.

II. Mise en application sur l'Argonne

La méthode résumée par la figure 1 a été mise en œuvre sur les stations d'Argonne. Cette région se situe plus au nord que les Plateaux calcaires, aux confins de la Marne, de la Meuse et des Ardennes (carte en Annexe V). Le tableau présentant les différentes unités stationnelles est reproduit en annexe VI.

II.1. La définition de la sensibilité des unités stationnelles

En ce qui concerne le climat, il diffère assez peu de celui des Plateaux calcaires et les grandes évolutions annoncées sont comparables. Ainsi, les diagrammes obtenus sur l'Argonne sont très proches de ceux présentés en figures 3 et 4.

Le croisement des évolutions climatiques annoncées, de l'économie de l'eau des stations et de leur fertilité actuelle a permis de construire un tableau de sensibilité des unités stationnelles au changement climatique (tableau 3). La méthode calibrée pour les Plateaux calcaires a donné dans un premier temps quelques indications qui semblaient moins pertinentes sur l'Argonne.

Quelques hypothèses sont formulées pour expliquer cela :

- Si l'Argonne possède également un relief marqué, les oppositions mésoclimatiques apparaissent moins prononcées que sur les Plateaux calcaires (les versants sud sont moins chauds et les versants nord moins froid). Les flores thermoxérophiles et hygrosclaphiles typiques sont plus rares en Argonne.
- De manière plus générale, les différences actuelles de fertilité apparaissent moins fortes en Argonne. Ainsi l'échelle de classification de fertilité des stations fonctionne de manière relative

Unité stationnelle	Note (réserve et alimentation en eau)	Fertilité globale (d'après le guide des stations)	Sensibilité au changement climatique
US1	12	●●	moyenne (-)
US2	11	●●	moyenne
US3	14	●●●	moyenne
US4	14	●●●●	forte
US5	19	●●●●●	forte
US6	20	●●	moyenne (-)
US7	15	●●●	moyenne
US8	14	●●●●	forte
US9	14	●●●●	forte
US10	8	●●	forte (-)
US11	16	●●●	moyenne
US12	17	●●●	moyenne
US13	19	●●●	moyenne
US14	19	●●●●●	moyenne (+)
US15	24	●●●●	moyenne
US16	21	●●●●●	moyenne
US17	27	●●●	faible
US18	27	●●	faible

Tableau 3. Sensibilité au changement climatique pour les unités stationnelles du guide de l'Argonne. Le signe (+) indique que le niveau de sensibilité initial était plus élevé et qu'il a été décidé de le diminuer. Le signe (-) indique au contraire qu'il a été décidé d'augmenter d'un cran le niveau de sensibilité pour mieux tenir compte des spécificités locales. Par exemple, l'unité stationnelle 6 était initialement classée en risque faible.

et non de manière absolue. Cela signifie par exemple qu'une station de fertilité faible d'Argonne équivaldrait à une station de fertilité faible à moyenne sur les Plateaux calcaires. Cela remet donc partiellement en cause le tableau présenté en annexe IV.

- La méthode est globalement peu précise et doit encore être améliorée.

Afin d'avoir une sensibilité climatique annoncée qui semble plus cohérente avec les différences actuelles entre stations, quelques ajustements ont été réalisés dans le tableau 3 (US 1, 6, 10 et 14) après l'application stricte de celui présenté en annexe IV. Une autre solution pour éviter ces ajustements aurait été de définir une échelle absolue de fertilité des stations (et non une échelle relative comme c'est le cas dans chaque guide). Il faudrait cependant pour cela des indicateurs fiables (indice de fertilité, production par essence...).



L'application de la méthode à une autre région naturelle a montré qu'elle permettait d'obtenir des résultats cohérents, même si des ajustements sont nécessaires. Il semble qu'il sera difficile d'aller plus loin sans mieux connaître les compensations entre facteurs intervenant dans l'économie de l'eau (réserve utile, exposition, topographie...).

II.2. Les choix d'essences

II.2.1. De la conception à la mise en œuvre

La conception d'un ouvrage sur la typologie des stations s'appuie sur un comité de pilotage composé de spécialistes de la typologie des stations, d'agents de développement, de futurs utilisateurs de la forêt publique ou de la forêt privée... Ce comité oriente le chargé d'étude dans ses choix et valide la pertinence de son travail (Forêt et Dumé, 2006).

Si les remarques sont désormais assez peu nombreuses sur le changement climatique, ses effets probables sont un peu plus discutés. La notion de sensibilité des stations engendre quant à elle, assez peu de commentaires.

En règle générale, les discussions sur les choix d'essences au sein du comité de pilotage sont nombreuses et animées. Cela est d'autant plus le cas lorsqu'il s'agit de prendre en compte les effets annoncés des changements globaux. À des aspects techniques déjà problématiques (connaissance actuelle de l'autécologie de certaines essences perfectible, manque de données précises sur la zone d'étude pour certaines essences, prise en compte des interactions entre choix d'essences et sylviculture...) s'ajoutent par exemple des discussions sur la nécessité d'introduire de nouvelles essences des régions voisines ou exotiques, ou sur la forme que doit prendre la présentation des choix d'essences.

Les choix d'essences résultant de la stricte prise en compte des hypothèses actuelles sont jugés « déprimants » par de nombreux participants (par exemple, le passage du hêtre aux pins). Il est souvent rappelé – à juste titre – qu'il est difficile de faire des propositions d'essences avec des données actuelles parfois très imprécises ou sujettes à caution.



Proposer des essences en prenant en compte le changement climatique est un exercice à la fois difficile d'un point de vue scientifique et technique, mais aussi d'un point de vue humain. Il est important d'utiliser au mieux les informations actuelles (prévisions climatiques, autécologie des essences...) tout en sachant parfois les relativiser : de très nombreuses questions sont encore sans réponses. Il faut rester prudent dans les recommandations. Des mises à jour périodiques seront nécessaires.

II.2.2. Présentation retenue pour les choix d'essences

Le projet de tableau présenté en figure 9 a été jugé trop alarmiste par certains membres du comité de pilotage. Une nouvelle disposition a donc été mise en œuvre (figure 11).

- Un encadré au sein de la première colonne précise quelles sont les essences qui, bien que parfois présentes, ne sont pas adaptées à la station.
- La structure de la seconde colonne a changé. Les essences y sont classées en trois catégories : **principale** (essences constituant l'ossature du peuplement telles que le chêne sessile ou le hêtre), **associée** (essences disséminées ayant un but de production ; merisier, frêne, érable sycomore...), et **d'accompagnement** (essences maintenues à titre cultural, par exemple le sorbier des oiseleurs).
- Les introductions possibles (essences allochtones) ainsi que les tentations à éviter sont également énumérées.

Les risques liés au changement climatique sont signifiés sous forme de pastilles de couleur qui suivent certaines essences. Une pastille rose indique que l'utilisateur doit rester vigilant dans la gestion de l'essence considérée et surveiller sa

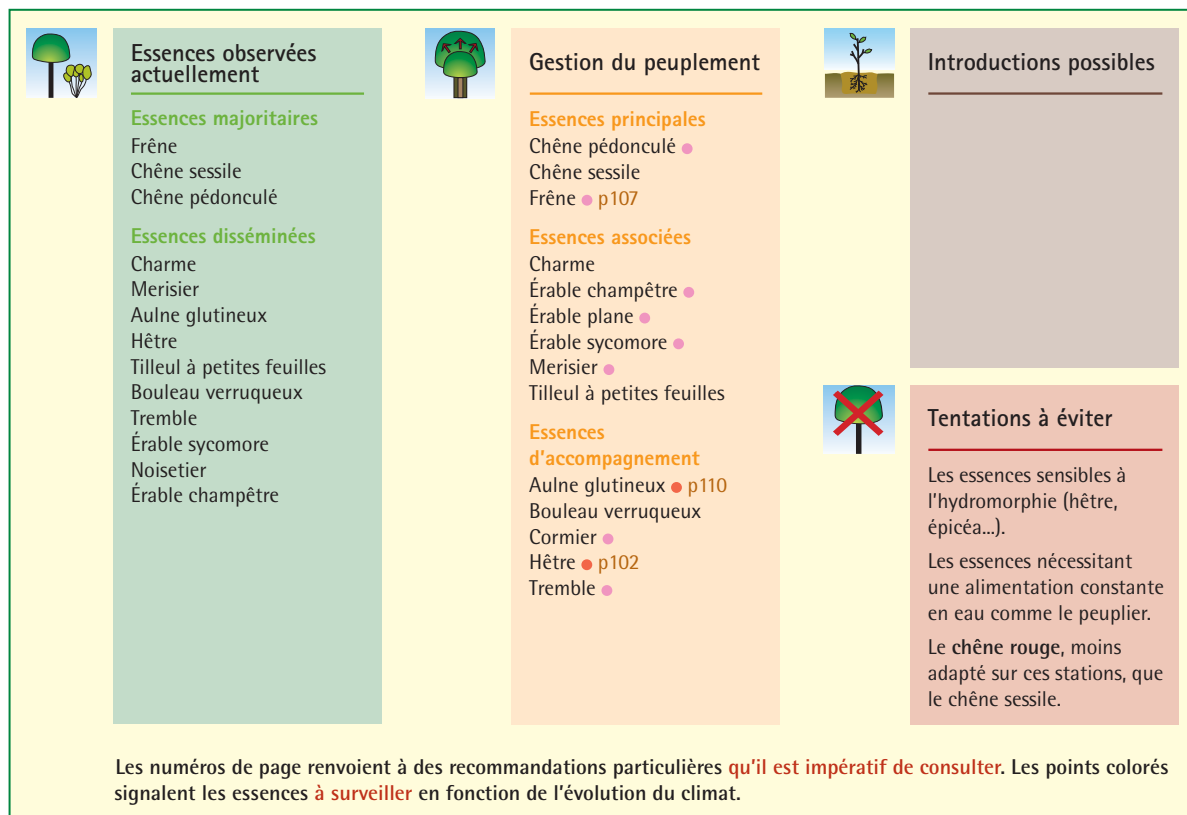


Figure 11. Choix des essences tenant compte de l'évolution climatique pour l'unité stationnelle 9 de l'Argonne.

croissance, voire son état sanitaire. Elle pourrait en effet dans le futur subir différentes contraintes liées au climat, sur cette unité stationnelle. Une pastille rouge met davantage en garde l'utilisateur. Ce dernier doit considérer sérieusement les risques qu'il prend à choisir cette essence sur l'unité considérée, car elle y présente une sensibilité conséquente aux contraintes climatiques annoncées. La structure globale des colonnes est également modifiée et la notion de temps introduite sur la figure 9, disparaît. La colonne **Gestion du peuplement** concerne à la fois les arbres en place et les essences choisies pour assurer le renouvellement. La notion de risque est donc beaucoup plus diffi-

cile à nuancer, sous cette forme, pour tenir compte du facteur temps.

Si cette présentation permet de faire clairement apparaître les contraintes potentielles liées au réchauffement, la structuration de la colonne centrale risque parfois d'être sclérosante. En effet, le classement des essences en **principale**, **associée** et **d'accompagnement** est valable aujourd'hui, mais pourrait évoluer dans le futur. Par exemple, le hêtre peut être actuellement l'essence majoritaire et structurante sur une station, mais le risque important encouru peut inciter le sylviculteur à ne plus lui donner qu'une place d'essence d'accompagnement dans les prochaines décennies.

II.2.2. Les indications de fin de guide

Dans les guides précédents édités en Champagne-Ardenne, une rubrique en fin de guide précise l'autécologie des principales essences. Sur certaines unités, le numéro de page correspondant à l'essence signale que le lecteur doit se reporter à cette rubrique de fin de guide. Cela permet notamment de préciser des cas particuliers (par exemple, n'implanter l'essence que sur les variantes les moins hydromorphes de la station) ou d'expliquer pourquoi l'essence est, sur certaines unités, en limite de ses possibilités d'implantation.

Pour préciser le comportement des essences en fonction des risques climatiques, une sous-rubrique spécifique a été adjointe (voir encadré ci-dessous). Elle résume les problèmes que pourrait rencontrer l'essence dans le futur et justifie la présence des pastilles de couleur.

Hêtre

Le hêtre a longtemps été désavantagé en Argonne au profit du chêne. Ce dernier traité en taillis ou taillis-sous-futaie était favorisé pour la production de bois de feu. Il possède aujourd'hui une place plus importante en Argonne, apparaissant sur une large gamme d'unités stationnelles. Il est surtout très fréquent en exposition nord, sur les **US11** et **US12**, où il bénéficie d'une humidité atmosphérique importante pouvant compenser une profondeur prospectable parfois limitée, mais la mobilisation des bois peut y être difficile. Il donne aussi de bons résultats sur les **US3**, **US4** et **US5**, où il domine généralement le peuplement. Il peut être une essence objectif intéressante, en remplacement du chêne sessile, lorsque les risques de gélivure sont élevés (**US2**, **US10** et variante non hydromorphe de l'**US1**). Il risque cependant de fournir, sur les stations les plus pauvres chimiquement, un bois de qualité moyenne, dur et nerveux.

La croissance du hêtre dépend beaucoup de la réserve en eau du sol et de l'humidité atmosphérique.

Il préfère les sols correctement et constamment alimentés en eau, mais aussi bien drainés. Par conséquent, il supporte mal les sols engorgés. Il convient donc de limiter son utilisation sur les **US1**, **US8** et **US9**, surtout si des traces d'hydromorphie sont constatées dans les 15 premiers centimètres. S'il est présent malgré l'hydromorphie, il pourra cependant être maintenu mais de préférence comme essence associée ou d'accompagnement. En situation de bas de versant, son utilisation est possible, en accompagnement des chênes (**US14**) voire comme essence associée (**US13**), si le sol est bien drainé.

 Les **US5**, **US11** et **US12** présentent des caractéristiques avantageuses pour le développement du hêtre : sol limoneux (**US5**), humidité atmosphérique (**US11** et **US12**), richesse minérale (**US12** et **US5**)... Sur ces unités stationnelles, une évolution des facteurs stationnels consécutive à un changement de climat, n'affecterait que faiblement la croissance de l'essence. Il reste cependant important de surveiller que l'humidité atmosphérique reste suffisante sur les **US11** et **US12**, pour compenser la faible réserve en eau des sols. Une augmentation des pluies hivernales entraînant une accentuation de l'hydromorphie dans le sol, pourrait par ailleurs être très néfaste à la croissance du hêtre sur l'**US5**.

De forts risques de dépérissement doivent en revanche être pris en considération sur les unités stationnelles sujettes à évoluer davantage. Sur les **US8**, **US9**, **US13** et **US14**, les périodes d'engorgement hivernal pourraient s'accroître ce qui est défavorable au hêtre, sensible à l'hydromorphie. Sur les **US1**, **US2**, **US3**, **US4** et **US10** ayant des sols moins profonds, la réserve utile pourrait devenir à terme insuffisante pour compenser le déficit hydrique lié aux étés plus secs.

Extrait de la rubrique autécologie des essences pour le hêtre. Le pictogramme en forme de thermomètre indique le début de la sous-rubrique relative aux risques climatiques.

Réaliser un guide des stations et notamment les rubriques de choix des essences est toujours une opération assez délicate. Les changements climatiques annoncés rendent cette tâche particulièrement complexe. C'est avant tout une meilleure connaissance des changements globaux qui permettra d'affiner les choix. L'approfondissement de la connaissance de l'autécologie et de la synécologie des essences forestières est également fondamentale pour produire des outils fiables et adaptés aux besoins des utilisateurs.

1 - L'échelle du siècle est tout à fait compatible avec les besoins de planification des forestiers, notamment dès qu'il s'agit de renouveler les peuplements.

2 - Les grandes tendances de changement climatique sont esquissées, mais l'intensité des phénomènes peut encore fortement varier en fonction des comportements qui seront adoptés.

3 - Cette hypothèse d'une stabilité dans le temps des paramètres physiques de la station n'est pas certaine. Par exemple, de fortes pluies hivernales pourraient conduire à une augmentation de l'érosion et à une diminution de la profondeur des sols. Pour les stations bénéficiant d'une alimentation en eau par la nappe, une évolution de la dynamique des rivières pourrait conduire à un abaissement de leur niveau en saison de végétation.

4 - La notion de risque pour chaque essence sera traitée, essence par essence dans un chapitre traitant de l'autécologie en fin de guide. Y sont habituellement précisés les principales exigences des essences (bonne réserve en eau du sol, humidité atmosphérique, exposition...) ou les facteurs limitants (intolérance au calcaire, à l'hydromorphie...). Leur comportement vis-à-vis du changement climatique (résistance à la sécheresse, à la chaleur...) viendra s'ajouter à ces rubriques habituelles.

5 - Dans le cas présenté, cela conduit par exemple à éclaircir fortement le peuplement pour favoriser une arrivée de feuillus moins sensibles, et à exercer une surveillance phytosanitaire.



Chêne pédonculé sur les Plateaux calcaires de Haute-Marne - Août 2003.

Bibliographie

Aussenac (G.), Guehl (J.-M.) – Variations climatiques et physiologie des arbres, Forêt-Entreprise, n°162, 2005, pp. 20-24.

Badeau (V.), Dupouey (J.-L.), Cluzeau (C.), Drapier (J.), Le Bas (C.) – Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises, Rapport final du projet Carbofor, tâche D1, INRA-IFN, 2004, 49 p.

Bréda (N.), Granier (A.) et Aussenac (G.) – Évolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres, Rev. For. Fr., numéro spécial 2000, 2000, pp. 73-90.

Charnet (F.) – Diagnostic stationnel et besoins en eau des principales essences forestières, Forêt-Entreprise, n°162, 2005, pp. 42-48.

Charnet (F.) – Le sol et l'eau : une clé de la productivité et de la santé des arbres, Forêt-Entreprise, n°171, 2006, pp. 29-33.

Déqué (M.) – Les scénarios climatiques de réchauffement. Synthèse. Météo France. Journées de la mission changement climatique et effet de serre. Avignon, 2004, 6 p.

Forêt (M.) et Dumé (G.) – Les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences – Méthodes et recommandations pratiques ou Guide-âne. IFN, 2006, 224 p.

Gaudin (S.) – Utiliser et valoriser une carte des stations : exemple en Brie champenoise, CRPF de Champagne-Ardenne, version 1.51, 2006, 10 p.

Legay (M.) et Mortier (F.) – Le changement climatique : impact sur la forêt, adaptation de la gestion forestière, et prise en compte dans les documents de planification, Bul. de la soc. for. de Franche-Comté, Tome LII, n°3, 2006, pp. 137-156.

Milard (L.) – Les Plateaux calcaires de Champagne-Ardenne et du nord et de l'est de la Bourgogne. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences, CFPPA de Croigny, 2004, 116 p.

Perrier (C.) – Guide pour l'identification et le choix des essences en Argonne, CFPPA de Croigny, 2007, 116 p.

Six (S.) – La relation station-essences, un défi pour l'avenir, Forêt-Entreprise, n°170, 2006, pp.7-10.

Six (S.) – InterCetef 2006 : le réseau du développement planche sur le réchauffement climatique, Forêt-Entreprise, n°172, 2007, pp. 5-8.

Prise en compte du changement climatique dans les guides et catalogues des stations : première approche

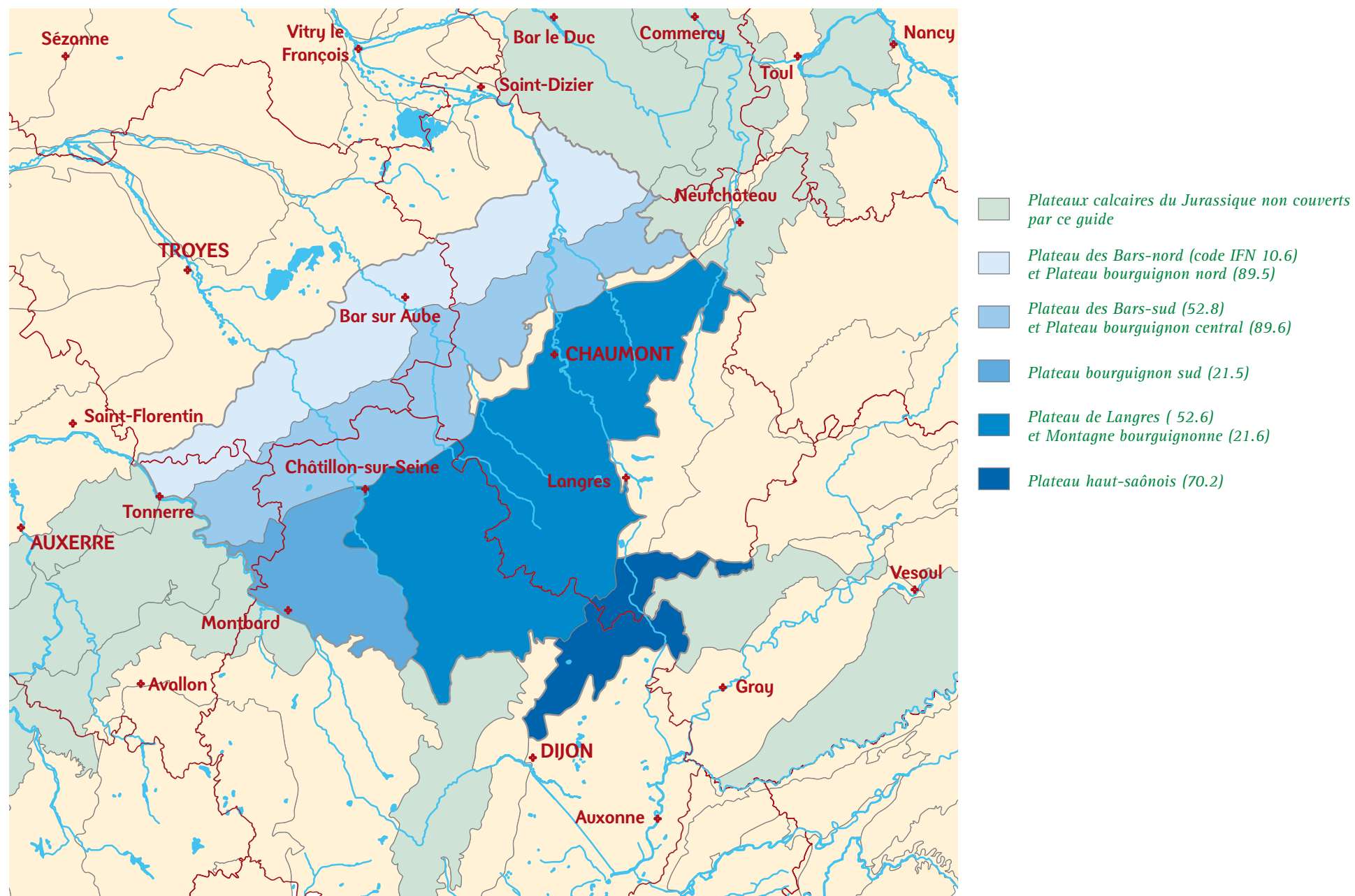
.....

Annexes

- Annexe I : tableau synoptique des stations du guide des Plateaux calcaires (Milard, 2004)
- Annexe Ibis : localisation de la zone couverte par le guide des Plateaux calcaires
- Annexe II : système de note destiné à évaluer l'économie de l'eau d'une station et à classer les stations
- Annexe III : système de clef destiné à évaluer l'économie de l'eau d'une station et à classer les stations
- Annexe IV : tableau permettant d'attribuer un risque lié au réchauffement climatique, en fonction de la fertilité actuelle annoncée par le catalogue et de la note obtenue pour synthétiser l'économie de l'eau
- Annexe V : Carte de localisation de l'Argonne
- Annexe VI : tableau synoptique des stations du guide de l'Argonne (Perrier, 2007)

			Type de matériau	Profondeur du sol prospectable	Réserve en eau du sol	Niveau trophique	Principales propriétés	Potentialités
Situation de plateau		US 1	Matériau carbonaté	•(••)	•(•)	Calcaire	Terre fine carbonatée avant 15 cm	Très faibles à faibles
		US 2	Argile sur calcaire	•(•)	•	Assez calcaire à neutre	Profondeur prospectable < 40 cm	Très faibles à moyennes
		US 3	Argile sur calcaire	•(••)	••	Neutre	Profondeur prospectable > 40 cm	Moyennes à assez bonnes
		US 4	Limon peu épais sur argile	•••(•)	•••	Peu acide	Sol relativement profond	Assez bonnes à bonnes
		US 5	Limon épais sur argile	••••	•••(•)	Assez acide à très acide	Parfois présence de chailles	Très bonnes à moyennes
Situation de versant	Ombragé	US 6	Eboulis grossiers	•(••)	•(•)	Calcaire à neutre	Enracinement difficile	Moyennes
		US 7	Colluvions carbonatées	••(•)	•(•)	Calcaire à neutre	Forte humidité atmosphérique	Très bonnes à bonnes
Situation de versant	Ensoleillé	US 8	Colluvions carbonatées	•	•	Calcaire	Forte sécheresse	Très faibles
		US 9	Colluvions diverses	•(••)	•	Calcaire	Sécheresse marquée	Très faibles à faibles
	Mésotherme	US 10	Colluvions diverses	•(••)	•(•)	Calcaire à peu acide	Carbonatation du sol variable	Moyennes à bonnes
Situation de bas de versant ou de fond de vallon		US 11	Colluvions argilo-caillouteuses	•(•)	•	Calcaire	Sol peu profond et faible réserve en eau	Faibles à très faibles
		US 12	Colluvions argilo-caillouteuses	••(•)	••	Calcaire à peu acide	Carbonatation du sol variable	Assez bonnes
		US 13	Colluvions argilo-caillouteuses	••••	••••	Calcaire à peu acide	Risque de gelées tardives ou précoces	Bonnes
Situation de fond de vallée		US 14	Colluvions diverses	•••(•)	•••(•) (excédentaire)	Calcaire à neutre	Risque de gelées tardives ou précoces	Bonnes
		US 15	Alluvions modernes sur grève	••(•)	••• excédentaire	Neutre (à calcaire)	Engorgement du sol parfois long	Moyennes
		US 16	Alluvions modernes sur grève	••(•)	••• excédentaire	Neutre (à calcaire)	Engorgement quasi permanent	Faibles

Annexe I : tableau synoptique des stations du guide des Plateaux calcaires – Milard (2004)



Annexe II : système de note destiné à évaluer l'économie de l'eau d'une station et à classer les stations. L'examen de chaque paramètre sur la station permet d'attribuer une note. C'est la somme des notes qui caractérise la station.

Position topographique	
Plateau	4
Plaine	5
Replat de versant	4
Versant faible	3
Versant marqué	2
Haut de versant	1
Bas de versant	7
Fond de vallon	9
Cuvette	10

Provenance de l'eau	
Pluie uniquement	0
Nappe alluviale profonde (à plus de deux mètres en saison de végétation)	5
Nappe alluviale superficielle (présence à moins de deux mètres de profondeur en saison de végétation)	8
Nappe permanente	10

Exposition	
Pas d'effet mésoclimatique marqué	3
Exposition froide (versant nord, confinement)	7
Exposition chaude	0

Réserve utile	
0 à 25	0
25 à 50	1
50 à 75	2
75 à 100	3
100 à 150	5
150 à 200	8
200 à 250	10
250 à 300	12
Plus de 300	14

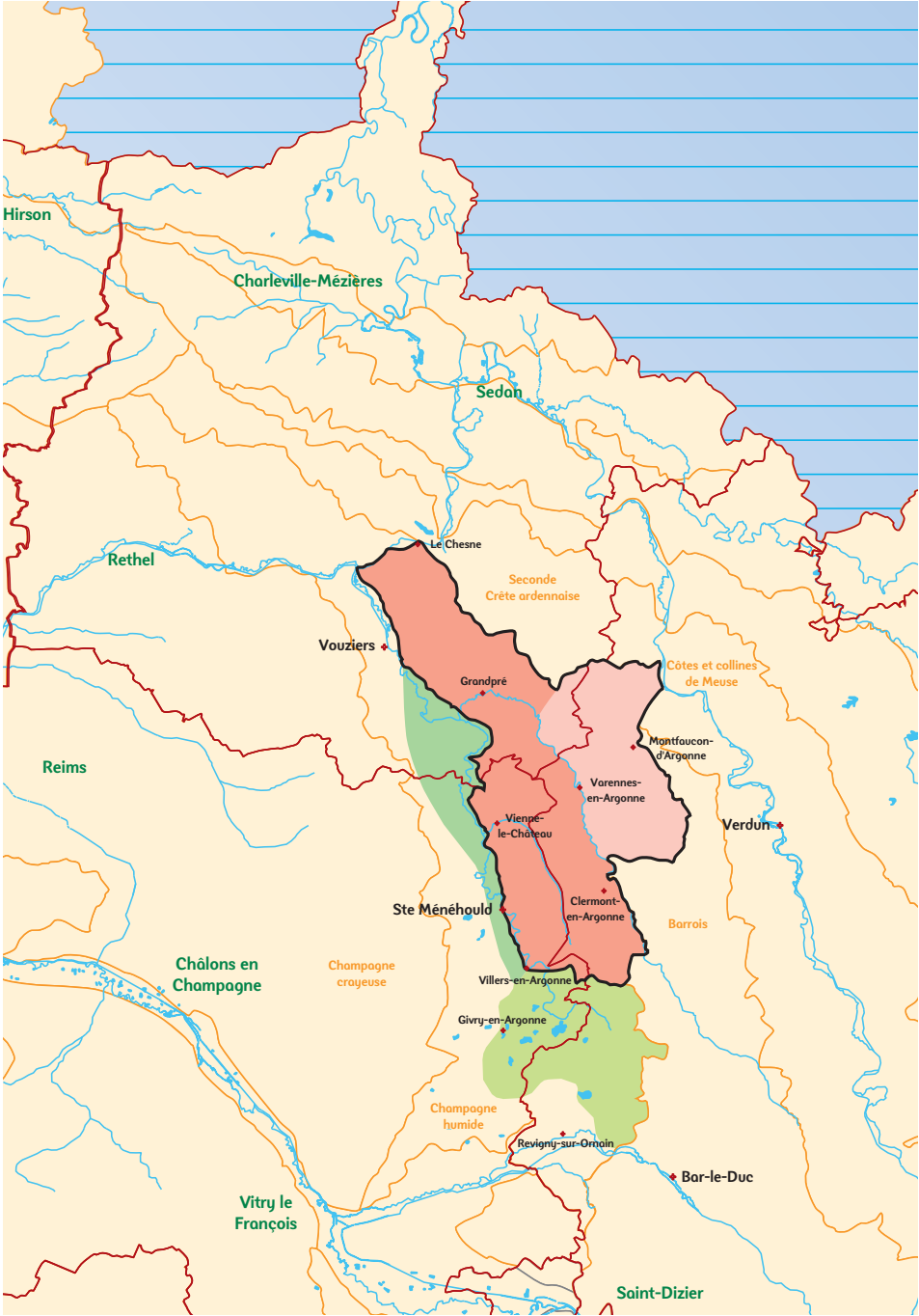
Excès d'eau dans le sol	
Pas d'hydromorphie	6
Hydromorphie légère ou profonde (traces à plus de 50 cm de profondeur)	4
Hydromorphie marquée (forte battance de nappe). Pseudogley à moins de 50 cm de profondeur)	2
Nappe proche de la surface (moins de 50 cm) en toute saison	0

Annexe III : système de clef destiné à évaluer l'économie de l'eau d'une station et à classer les stations. La lettre A correspond au plus sec et G à la meilleure alimentation en eau.

Critères			Classement
Présence d'une nappe en saison de végétation	Nappe proche de la surface en toute saison (moins de 50 cm)		G
	Nappe alluviale proche de la surface (moins de 2 m de profondeur en été)		F
	Nappe alluviale éloignée de la surface (plus de 2 m de profondeur en été)		E
Plaine, plateaux ou versant à pente faible	RU forte (RU>130)		D
	Ru moyenne [50;130]		C
	Ru faible (RU<50)		B
Versant à pente forte	Exposition froide	RU moyenne à forte (RU>75 mm)	D
		RU faible (RU<75 mm)	C
	Exposition chaude	RU moyenne à forte (RU>50 mm)	B
		RU faible (RU<50 mm)	A
	Pas d'effet mésoclimatique marqué	RU moyenne à forte (RU>75 mm)	C
		RU faible (RU<75 mm)	B
Fond de vallon et petite vallée ou bas de versant	Présence d'un ruisseau	RU bonne à assez bonne (RU>100 mm)	E
		RU moyenne à faible (RU<100 mm)	D
	Absence d'un ruisseau	RU bonne à assez bonne (RU>100 mm)	D
		RU moyenne à faible (RU<100 mm)	C

Annexe IV : tableau permettant d'attribuer un risque lié au réchauffement climatique, en fonction de la fertilité actuelle annoncée par le catalogue et de la note obtenue pour synthétiser l'économie de l'eau. Un niveau «Fort» signifie par exemple un risque important par rapport au réchauffement sur la station considérée.

	Niveau global de fertilité annoncé par le catalogue				
Note obtenue pour l'économie en eau	●	●●	●●●	●●●●	●●●●●
0 à 9	Faible	Moyen	Fort	Fort	Fort
10 à 14	Faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort
15 à 19	Faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort
20 à 24	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
25 à 29	Faible	Faible	Faible	Faible	Moyen
30 et plus	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible



Annexe V : localisation de l'Argonne

Les zones teintées de rouge désignent la région naturelle Argonne (zone centrale et collines périphériques, à l'Est). Les deux zones vertes correspondent à des zones de transition avec la Champagne humide.

Situation topographique	US	Type de matériau	Profondeur de sol prospectable	Réserve en eau du sol	Niveau trophique	Principales propriétés	Potentialités
Situations de plateau, plaine, haut de versant (pente faible), dépression de plateau	US 1	Sable et limon d'altérite sur gaize	**(*)	*	Très acide	Substrat à dominante sableuse dans les 20 premiers centimètres	Faibles
	US 2	Limon d'altérite ou limon sableux sur gaize	*	*	Acide à très acide	○ Gaize affleurante ○ Acidité très marquée	Faibles
	US 3		**(*)	*(*)	Peu acide à assez acide	○ Gaize en profondeur ○ Assez bonne richesse chimique	Moyennes
	US 4	Limon ou limon sableux (rare limon d'altérite) et souvent argile en profondeur	***(*)	*****	Peu acide à assez acide	Limons de plateau peu épais sur argile, presque sans fragments de gaize	Bonnes à très bonnes
	US 5		*****	*****	Neutre à peu acide	○ Forte épaisseur de limons ○ Bonne réserve en eau	Très bonnes
	US 6	Limon, limon sableux, ou limon d'altérite sur argile	***(*)	***(*)	Acide	○ Peu d'éléments grossiers ○ Acidité assez marquée	Assez faibles
	US 7		***(*)	***(*)	Peu acide à acide	Engorgement temporaire dans les premiers horizons	Moyennes
	US 8		*****	***(*)	Peu acide	Argile devenant dominante dès les premiers horizons	Bonnes
	US 9		*****	***(*)	Neutre à peu acide	○ Bonne richesse chimique ○ Bonne réserve en eau	Bonnes à très bonnes
Situations de versant (pente moyenne à forte)	US 10	Limon d'altérite sur gaize	*	*	Très acide	○ Gaize affleurante ○ Sécheresse et forte acidité	Faibles
	US 11		*(*)	*(*)	Acide	○ Versant souvent ombragé ○ Faible réserve en eau	Assez faibles à moyennes
	US 12		*(*)	**	Peu acide	○ Versant souvent ombragé ○ Sol parfois profond	Moyennes à bonnes
Situations de bas de versant (pente faible), replat, talweg	US 13	Colluvions limoneuses avec fragments de gaize, sur argile ou sur sable	****	***(*)	Peu acide à acide	Colluvions souvent chargés en fragments de gaize de petite taille	Moyennes à bonnes
	US 14		***(*)	***(*)	Neutre à peu acide	○ Bonne alimentation en eau ○ Bonne richesse minérale	Bonnes
Situations de fond de vallon, fond de vallée	US 15	Colluvions limoneuses avec fragments de gaize, sur argile ou sur sable	*****	***(**)	Peu acide à assez acide	Engorgement temporaire des sols dès la surface	Bonnes
	US 16		**(**)	***(*)	Riche	○ Très bonne alimentation en eau ○ Bonne richesse minérale	Très bonnes
	US 17	Alluvions	**(**)	excédentaire	Riche	Engorgement prolongé du sol	Moyennes
	US 18		**(**)	excédentaire	Riche	Engorgement quasi-permanent du sol, souvent proche de la surface	Faibles

* = faible, ** = moyenne, *** = importante, ***** = très importante - Les parenthèses indiquent la variation du paramètre étudié au sein de l'unité stationnelle. Par exemple, *(*) signifie que la profondeur du sol (ou la réserve en eau) peut être selon les cas, faible à moyenne.