



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

RÉGION
BOURGOGNE
FRANCHE
COMTE

Influence d'accidents climatiques majeurs (sécheresse, canicule) sur la croissance des peupliers et des Douglas

Projet CHAC'Arbre : convention n° FB-ACOL-00047

Rapport technique

A. Bouvet
A. Berthelot
M. Chaumet

14 octobre 2020

Siège social

10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Marne
Tél +33 (0)1 72 84 97 84

www.fcba.fr

Siret 775 680 903 00132
APE 7219Z
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

Institut technologique FCBA :
Forêt, Cellulose, Bois – Construction
Ameublement

SOMMAIRE



1. Introduction	3
2. Méthodologie	4
2.1 Données de croissance	4
2.1.1 Peuplier	4
2.1.2 Douglas	6
2.2 Données météorologiques	6
3. Résultats Peuplier	7
3.1 Résultats globaux pour l'ensemble de nos dispositifs	7
3.2 Focus sur la sécheresse de 1976	9
3.3 Focus sur les canicules de 2003 et 2006 et la sécheresse de 2005	10
3.3.1 Constatations générales	10
3.3.2 Effets de la station	13
3.3.3 Effet génétique	15
3.3.4 Effet de la densité	17
4. Résultats Douglas	18
4.1 Effets sur la croissance	18
4.2 Dépérissement	20
5. Conclusions	22
6. Références bibliographiques	23
7. Annexes	24

1. Introduction

Dans le contexte du changement climatique, FCBA a proposé au conseil régional de Bourgogne – franche Comté une étude sur les effets de ce changement climatique sur la croissance des arbres (projet CHAC'Arbre).

FCBA (ex AFOCEL) dispose d'un réseau d'essais très important (plus d'un millier de sites) avec une large répartition géographique (Revue Forestière Française – 1/2003) et un historique important (les premiers dispositifs ont été installés dans les années 1960). Pour chacune de ces expérimentations, un suivi individuel de la croissance des arbres est réalisé. La fréquence des mesures est variable selon les essences et les thématiques abordées. Il nous paraissait intéressant d'utiliser ces données pour étudier l'impact d'évènements climatiques majeurs (sécheresse, canicule) sur la croissance des arbres.

En effet, selon les prévisionnistes, les périodes caniculaires risquent d'augmenter dans les années à venir, tant en fréquence qu'en intensité et en durée. Ce phénomène est déjà observable. Sur les 80 dernières années, les vagues de chaleur les plus intenses ont été principalement observées dans les 20 dernières années (2003, 2006, 2018 et 2019) comme on peut le constater sur la figure 1.

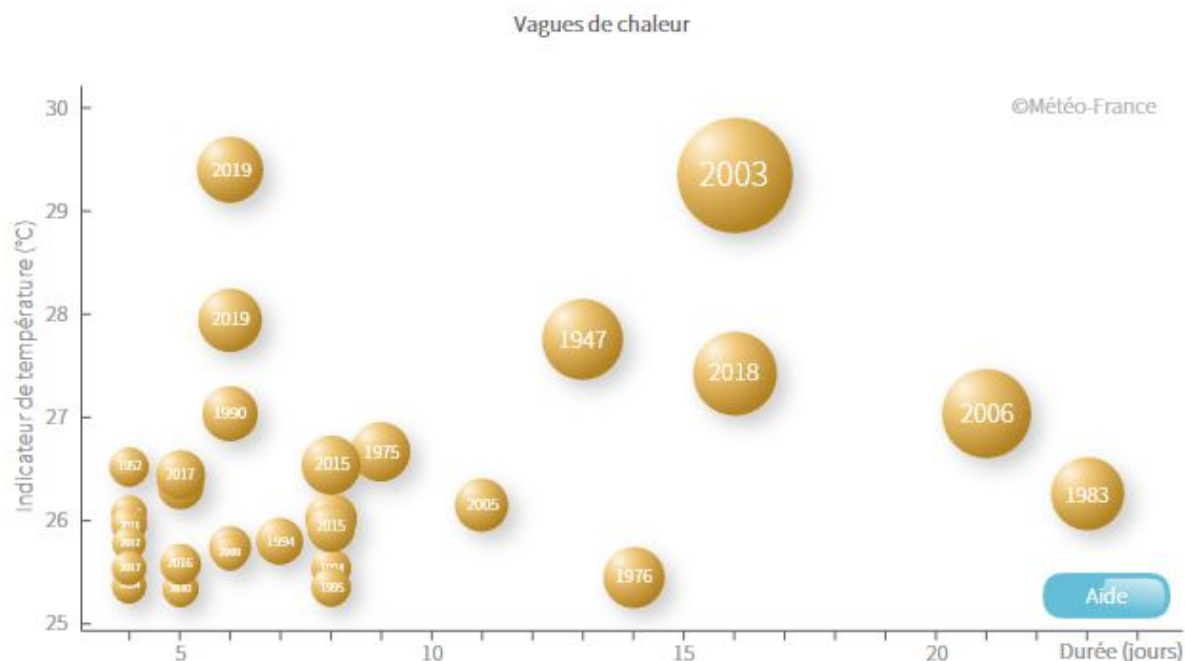


Figure 1 : vagues de chaleur observées depuis 1947. Source météo-France : (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>)

L'année 1976 quant à elle a été surtout marquée par une sécheresse exceptionnelle avec un déficit de précipitation très marqué sur les mois de mars à août (figure 2).

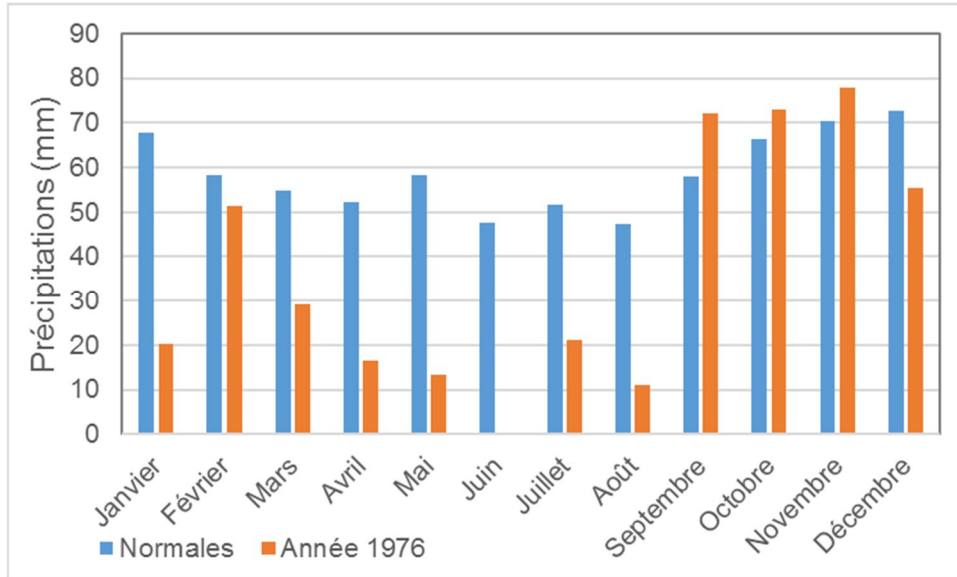


Figure 2 : précipitations de l'année 1976 comparées aux normales de la période 1964-2019 pour un poste situé dans le Maine-et-Loire

2. Méthodologie

2.1 Données de croissance

2.1.1 *Peuplier*

En raison de sa croissance rapide et de sa sensibilité connue aux agents biotiques et abiotiques (climat, bio-agresseurs, concurrence, etc.), le peuplier fait l'objet le plus souvent de mesures annuelles. C'est la seule essence pour laquelle nous disposons d'accroissements annuels sur un grand nombre d'essais.

Nous compléterons avec des mesures de cernes annuels réalisées sur des carottes de Douglas, dans le cadre d'un projet de recherche conduit sur les déterminants de la formation du duramen, pour cette essence. Les mesures ont été réalisées sur 8 sites répartis dans 5 zones géographiques (voir annexe 2). Les mesures ont été réalisées fin 2018. A cette date, les arbres sur les différents sites étaient âgés entre 30 et 34 ans.

Plus de 140 essais de peuplier ont été retenus, couvrant une période de plus de 40 ans (1968-2011). Les essais diffèrent par tout ce qui est lié au site, mais aussi par leur densité de plantation, les entretiens réalisés ou le matériel végétal utilisé. Pour un essai donné, un seul de ces 3 facteurs varie, les autres sont fixes.

Le but de l'étude est de comparer les accroissements observés une année donnée aux accroissements théoriques que l'on aurait observés si les conditions avaient été normales. La variable étudiée est la surface terrière. Par site, et pour chaque traitement étudié, un modèle est ajusté sur l'ensemble des données disponibles.

L'équation retenue est de la forme Chapman-Richard : $G_{ha} = G_{init} + p_1 * [1 - \exp(-p_2 * \text{age})]^{p_3}$ avec :

- G_{ha} = surface terrière en m^2/ha
- G_{init} = surface terrière à 1 an en m^2/ha
- p_1 et p_2 les paramètres du modèle estimés par traitement sur chaque site
- $p_3 = f(\text{IG moyen à 2 ans})$ relation établie sur les essais pour lesquels nous disposons de longues séries chronologiques (IG = accroissement en surface terrière).

Ce modèle permet l'estimation de la surface terrière pour chaque année ainsi que l'accroissement théorique en surface terrière entre 2 années (différence entre la surface terrière estimée l'année n et celle estimée l'année $n-1$).

Exemple sur un site : essai de Mirabeau (Vaucluse), comparaison de la croissance en surface terrière pour deux densités de plantation du clone Unal (figures 3 et 4).

Surface terrière observée et estimée par le modèle pour 2 densités : 200 et 400 tiges / hectare

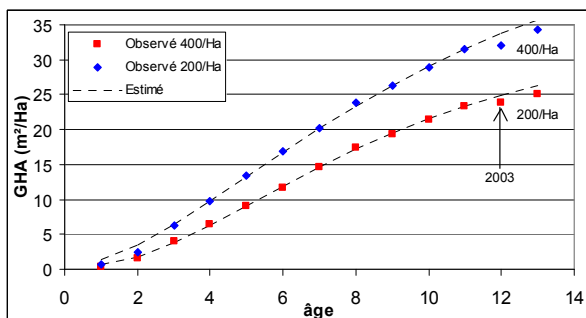


Figure 3 : Surface terrière observée et estimée par le modèle pour 2 densités : 200 et 400 tiges / hectare

Accroissement en surface terrière (IG) observé et estimé pour la modalité 400 tiges /hectare

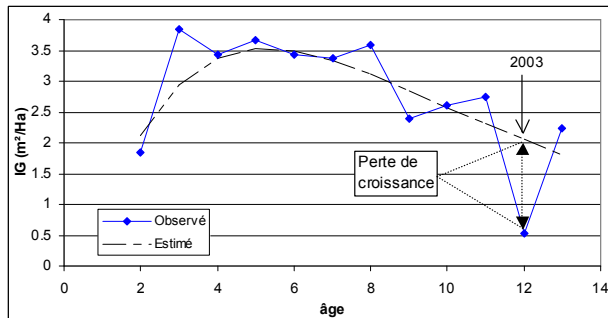


Figure 4 : Accroissement en surface terrière (IG) observé et estimé pour la modalité 400 tiges /hectare

Sur cet essai, pour la modalité 400 tiges/hectare, la perte de croissance annuelle en 2003 est estimée à 75%. En d'autres termes, la croissance en surface terrière mesurée pour l'année 2003 ($0,5 m^2/ha$) ne représente que 25% de la croissance théorique ($2m^2/ha$), prédite par le modèle.

2.1.2 Douglas

Pour les essais de douglas, les mesures se font tous les 5 ans en moyenne. Il n'est donc pas possible de calculer des accroissements annuels. En revanche, dans le cadre d'une étude sur le duramen, il a été effectué des mesures au resistographe (IML® resi PD 500) pour apprécier la densité du bois. Le principe est une aiguille de 2 mm de diamètre introduite à vitesse constante dans l'arbre à une hauteur de 1,30m environ. La résistance au forage est mesurée électroniquement tous les 1/10^{ème} de millimètre et est enregistrée sous forme numérique. Cette résistance est corrélée à la densité du bois. Or, il est connu qu'à chaque changement de cerne (année de croissance), on observe une rupture nette de la densité du bois. En analysant les données d'un arbre, il est donc possible d'en déduire les limites de cerne et donc leur largeur.

Les données ont été récoltées dans 5 régions distinctes :

- Morvan (2 essais)
- Périgord (3 essais)
- Creuse
- Tarn
- Beaujolais

Et sur chaque essai le nombre d'arbres mesurés varie de 27 à 60.

2.2 Données météorologiques

Pour étudier le lien entre la croissance et les conditions météorologiques, les données météorologiques ont été acquises auprès de météo-France. Il s'agit des données de simulation du schéma de surface (modèle Safran-ISBA). Ces données correspondent à un maillage très fin du territoire (8 000 points) et permettent donc de disposer de données au plus proche de chacun de nos essais (moins de 15 km). Ce sont les données mensuelles qui sont utilisées pour toutes les années de suivi de chaque essai.

Les variables retenues sont :

- Cumul de précipitations
- Température moyenne
- Evapotranspiration potentielle
- Indice de sécheresse des précipitations intégré sur 1 mois
- Indice de sécheresse de l'humidité des sols intégré sur un mois

Les 2 derniers indices représentent l'écart entre une valeur observée un mois sur un point et les normales pour le même mois sur le même point. Plus cette valeur s'écarte de 0 et plus on s'écarte des normales. Une valeur négative indique un déficit de précipitation ou d'humidité des sols et une valeur positive des valeurs supérieures à la normale.

3. Résultats Peuplier

3.1 Résultats globaux pour l'ensemble de nos dispositifs

La période de croissance (saison de végétation) comme pour beaucoup d'arbres se situe au printemps et en été (de mars à septembre). Ce sont donc les conditions météorologiques de ces mois qui ont la plus grande influence sur la croissance. Si l'on s'intéresse à un critère (l'indice de sécheresse de l'humidité des sols) sur cette période, on constate quelques années marquantes (figure 5) :

- 1976 avec un indice très faible (sécheresse exceptionnelle)
- 2003 avec un indice faible (canicule exceptionnelle), ainsi que les années 2005 et 2019
- Quelques années avec des indices très élevés : 1977, 1983, 1987 et 2013

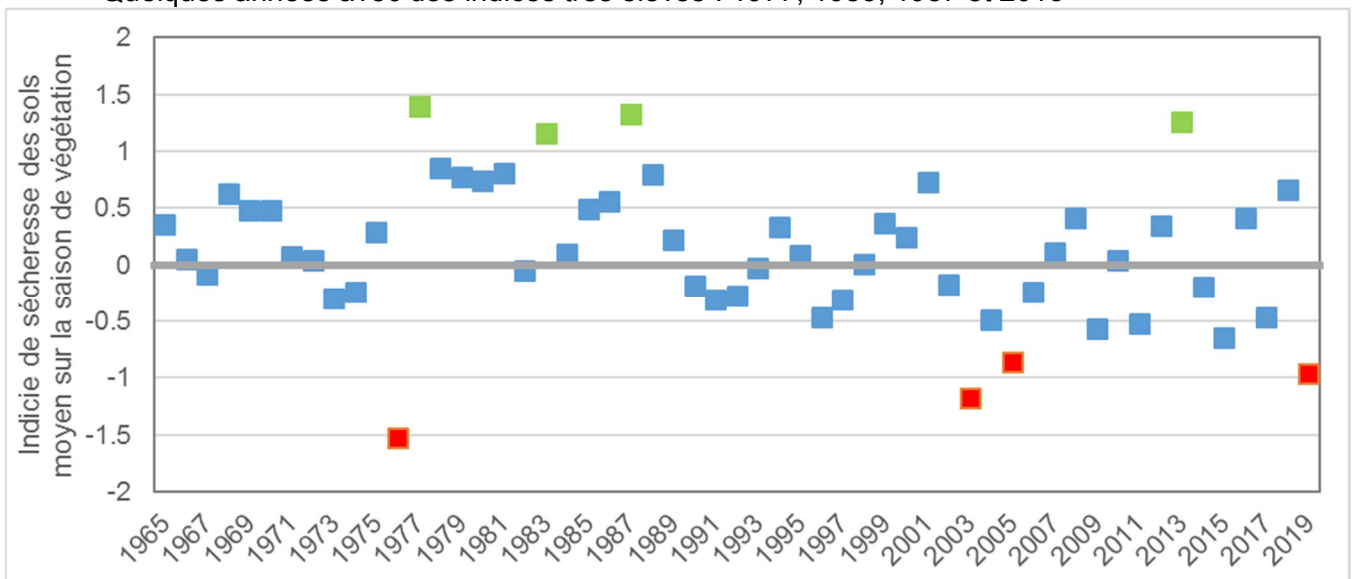


Figure 5 : indice de sécheresse des sols (moyenne des mois de la saison de végétation de chaque année pour sur tous nos sites)

En ce qui concerne la croissance des peupliers, dans un premier temps, il est calculé par année la moyenne des écarts entre les accroissements observés et ceux estimés par le modèle. Pour chaque année nous avons donc plusieurs sites (au minimum 10) répartis sur toute la France, situés dans des conditions très différentes et également d'âges différents.

De plus, ce ne sont pas les mêmes sites qui sont suivis tous les ans : le cycle d'une peupleraie étant très court (une vingtaine d'année), certains essais ont été récoltés et d'autres mis en place au cours de la période.

Nous disposons des données de croissance sur la période 1965-2019, mais en ne conservant que les années pour lesquelles nous avons des données sur plus de 10 essais, la période retenue est 1968-2011 (avec une rupture sur 1979-1991).

Ces précautions d'interprétation étant prises, nous constatons que certaines années se démarquent (figure 6):

- Par des pertes de croissance : 1977, 1972, 2003, 2005 et 2006
- Par des croissance élevées : 2007, 2010, 1975.

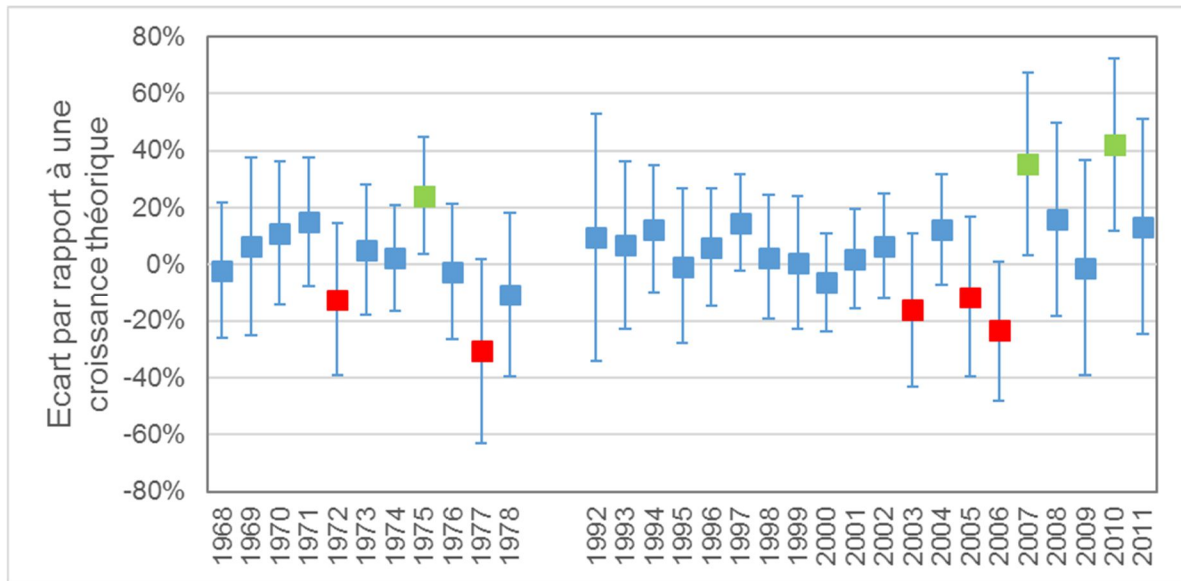


Figure 6 : Par année, moyenne des écarts entre accroissements observés et accroissement théorique (une valeur négative indique un déficit de croissance) et intervalle de confiance à 66%.

Sans rentrer à ce stade dans le détail des conditions météorologiques, on peut noter que :

- L'année 1977 pourtant très humide accuse une perte de croissance très importante, peut-être le contrecoup de la sécheresse exceptionnelle de 1976 (plus faible indice de sécheresse des sols pour la saison de végétation de toutes les années étudiées) qui n'a pas semblé impacter la croissance de 1976 ?
- Les années 2003 et 2005 accusent des indices d'humidité des sols très faibles et également des pertes de croissance importantes

Mais il est très difficile de raisonner sur un ensemble de sites et ces tendances générales méritent d'être étudiées plus finement.

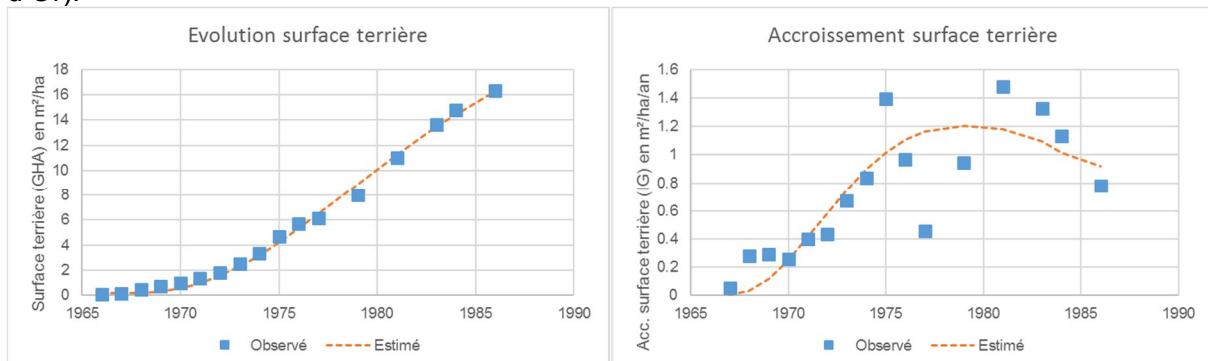
3.2 Focus sur la sécheresse de 1976

Nous disposons de données sur 25 essais. Cette année 1976 a été marquée par une sécheresse exceptionnelle, surtout sur le deuxième trimestre, période à laquelle se joue une bonne partie de la croissance de l'année. Cette sécheresse a été observée sur tous essais sauf peut-être ceux du Sud-Ouest (Ariège et Aube). En général, les conséquences sont visibles sur l'année 1976, mais l'année 1977 est elle aussi très fortement impactée (tableau 1)

N° essai	Nom	Age en 1976	Déficit Pluie		Perte croissance	
			T2	T3	1976	1977
01415	BEYARD	4	-171	38	20%	-41%
09103	MANSES	10	-49	46	17%	-40%
10422	CLEREY	6	-122	-42	8%	-41%
11005	TREBES-ENTRETIE	8	-46	42	-39%	-74%
11006	TREBES-EQUILIBR	8	-46	42	-48%	-70%
21405A	ECHIGEY	10	-138	-10	23%	-71%
21406A	BINGES	10	-139	-10	-13%	-61%
21411	SAINT LEGER TRIEY	14	-139	-10	10%	-42%
21412A	LES MAILLYS	8	-138	-10	-35%	-64%
38404	LE CHAMP	13	-179	41	-5%	12%
38406	TENCIN	12	-188	43	-9%	4%
38408	LE VERSOUD	12	-188	43	41%	37%
38414	ST VINCENT DE M	9	-188	43	-30%	-7%
38419	TENCIN	3	-188	43	51%	-31%
39410A	PETIT NOIR	9	-160	31	-34%	-90%
49011	LES AULIS 81	13	-128	-53	8%	-49%
49020	ARPENT 2-78	10	-124	-18	-1%	-9%
49037	ARPENT 1	11	-144	-68	-14%	-3%
68417B	BERGHEIM	7	-112	11	3%	13%
70403B	ESSERTENNE	11	-152	43	0%	-40%
72004	LA FLECHE 1	13	-128	-53	-18%	-13%
72027	BREHERMONT 1-68	11	-131	-17	9%	11%
72028	LA TEMPLERIE 69	9	-142	-7	-3%	-38%
72050	BREHERMONT 2-69	10	-131	-17	14%	-8%
89407	VERGIGNY	9	-126	-37	-19%	-49%

Tableau 1 : liste des 25 essais pour l'étude de la sécheresse de 1976

Sur certains essais, l'impact est réel en 1976, mais encore plus en 1977 où la croissance a été quasi nulle. La figure 7 représente cet effet sur l'essai de Binges (département de la Côte d'Or).



Sur d'autres en revanche, l'impact est presque nul (figure 8)

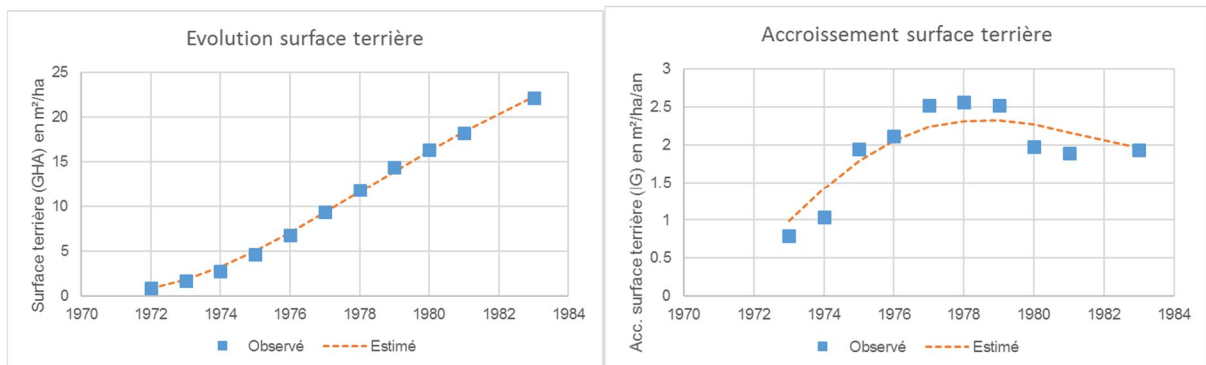


Figure 8 : impact de la sécheresse de 1976 sur la croissance sur l'essai de Bergheim (Haut-Rhin)

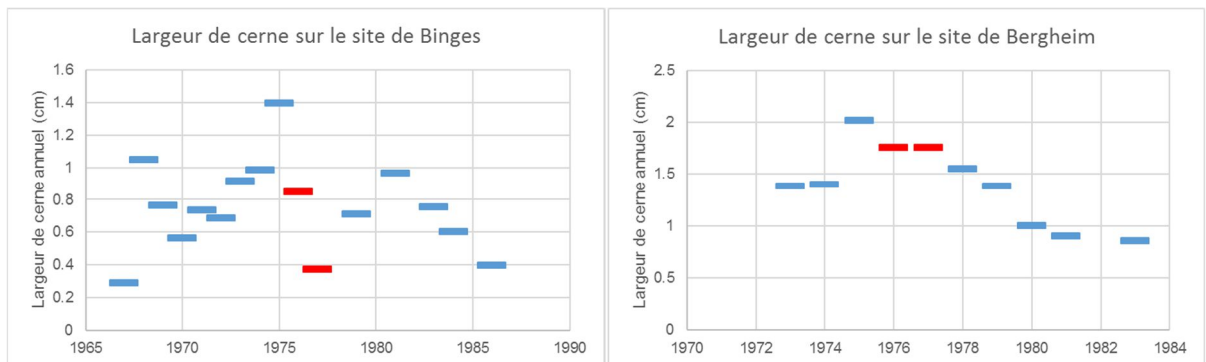


Figure 9 : largeurs de cerne annuel pour 2 sites sur lesquels la sécheresse de 1976 a des conséquences très contrastées

Pour expliquer de telles différences de comportement, il faut s'intéresser aux caractéristiques pédologiques de chaque site. Les peupleraies sont installées le plus souvent sur des sites très favorables, où l'alimentation en eau est assurée par une nappe alluviale. Cependant le niveau de cette nappe en période estivale est susceptible de varier plus ou moins selon le type de cours d'eau et les conditions météorologiques, ce qui déterminera une sensibilité à la sécheresse plus ou moins marquée. D'autres sites, enfin, sont complètement dépendants des précipitations (populiculture hors vallée).

3.3 Focus sur les canicules de 2003 et 2006 et la sécheresse de 2005

3.3.1 Constatations générales

Sur 47 des 62 essais étudiés, la croissance 2003 a été inférieure à celle attendue, mais les pertes de croissance sont très variables selon les essais. De même, pour le 3^{ème} trimestre de cette année 2003, sur tous les sites étudiés, les indices d'humidité du sol sont négatifs, signe d'un déficit engendré par la canicule intense et longue observée au mois d'août.

Mais les valeurs sont très hétérogènes sur le territoire : valeurs proches de -2 sur nos essais de Bourgogne – Franche-Comté mais autour de -0,5 en pays de la Loire.

La canicule a été un peu moins marquée en région Pays de la Loire et de plus les précipitations y ont été légèrement supérieures aux normales, atténuant son effet sur l'humidité des sols alors qu'en Bourgogne – Franche Comté les précipitations ont été inférieures aux normales (figure 10).

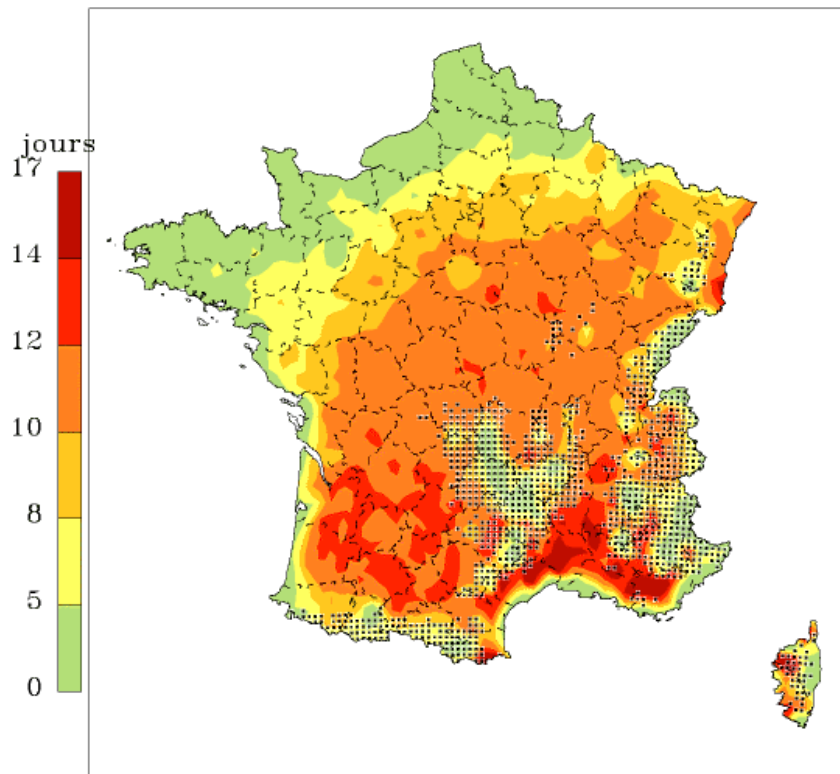


Figure 10 : nombre de jours avec température maximale $\geq 30^{\circ}\text{C}$ sur la période 01/08/2003 – 18/08/2003. Source météoFrance

Ce qui est certain c'est qu'il n'y a pas de lien direct entre cet indice de sécheresse des sols et les pertes de croissance (figure 11).

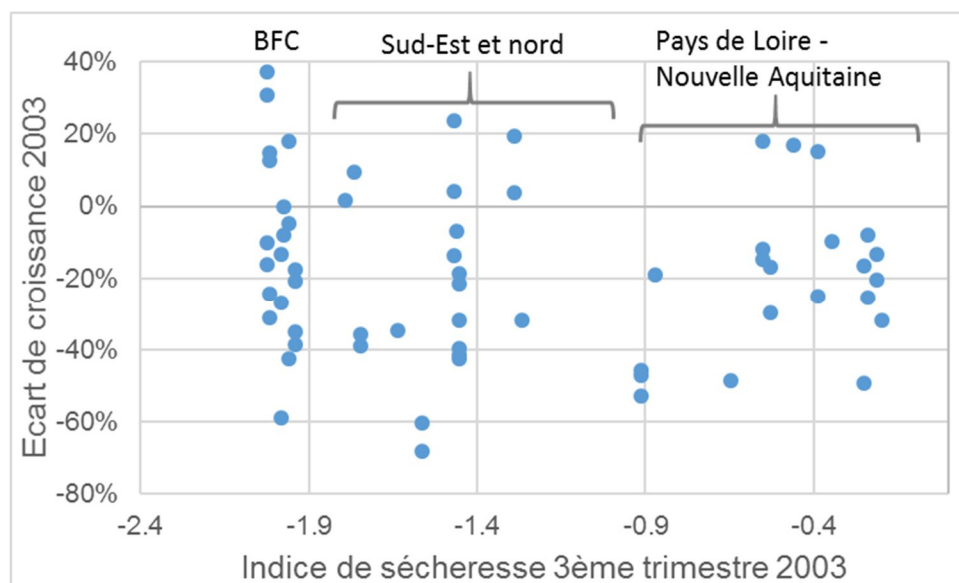


Figure 11 : relation entre indice de sécheresse des sols et écarts de croissance pour l'année 2003

Pour les années 2005 et 2006, les évènements climatiques ont été moins intenses :

- En 2006, canicule un peu plus longue qu'en 2003, mais nettement moins intense,
- En 2005, déficit pluviométrique.

Sur quasiment l'ensemble de nos essais, l'indice de sécheresse des sols pour ces 2 années est négatif, sans atteindre les valeurs de 2003.

Comme en 2003, la tendance générale est à une perte de croissance sur l'ensemble des sites :

- En 2005, la croissance observée est inférieure à la croissance prévue pour 23 des 35 essais étudiés,
- En 2006, la croissance observée est inférieure à la croissance prévue pour 26 des 29 essais étudiés.

Cependant l'ampleur de ce déficit de croissance n'est pas liée uniquement à l'indice de sécheresse des sols (figure 12).

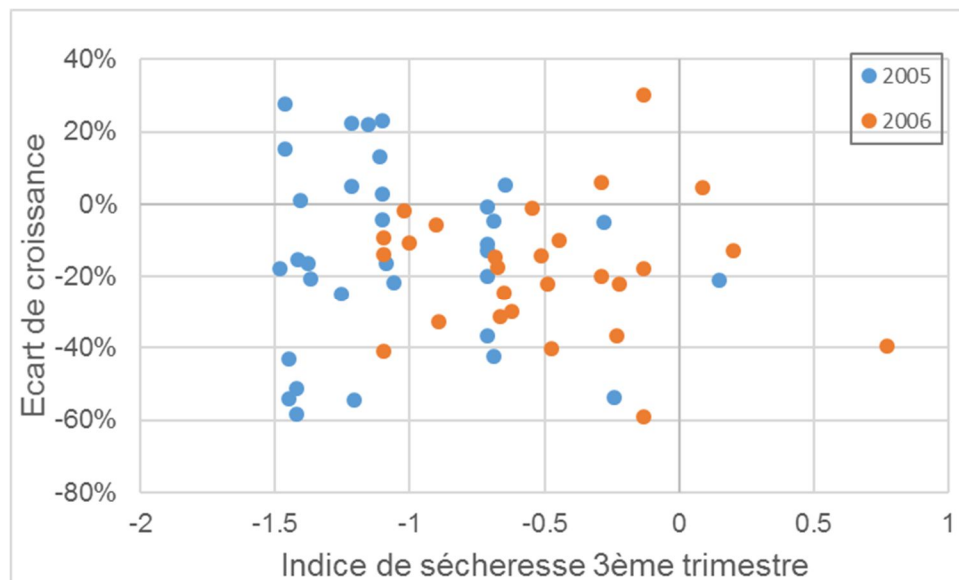


Figure 12 : relation entre indice de sécheresse des sols et écarts de croissance pour les années 2005 et 2006

3.3.2 Effets de la station

De nombreux facteurs influencent la réaction des peupliers à ces périodes de stress. Pour l'année 2003, nous avons donc entrepris l'analyse en fonction des conditions particulières de chaque essai et notamment du type de station. En général, nos essais sont installés dans des stations très favorables au peuplier avec notamment une alimentation en eau assurée par une nappe permanente.

Quelques essais ont cependant été installés sur des sites qualifiés de « hors vallée », avec une alimentation en eau assurée uniquement par des précipitations et des apports latéraux. Nous disposons également pour certains essais d'une analyse de sol réalisée lors de l'installation, ce qui nous donne la texture du sol et notamment le taux d'argile.

Les essais ont été classés en 3 niveaux d'intensité de stress :

- Très sévère (indice inférieur à -1,9) : sites de la région Bourgogne – Franche-Comté
- Sévère (indice compris entre -1,0 et -1,8) : sites du sud de la France pour l'essentiel
- Modéré (indice compris entre -0,2 et -0,9) : sites de la région Pays de la Loire

Nous n'observons pas de différence entre les sites en vallée et les quelques sites hors vallée. De même, il n'existe pas de lien très net entre le taux d'argile et les pertes de croissance (figure 13).

De nombreux autres facteurs (âge au moment de la canicule, cultivar, densité de plantation, alimentation en eau) peuvent expliquer les différences de comportement pour des essais qui ont subi la même intensité de stress et qui sont installés sur des sols de même texture.

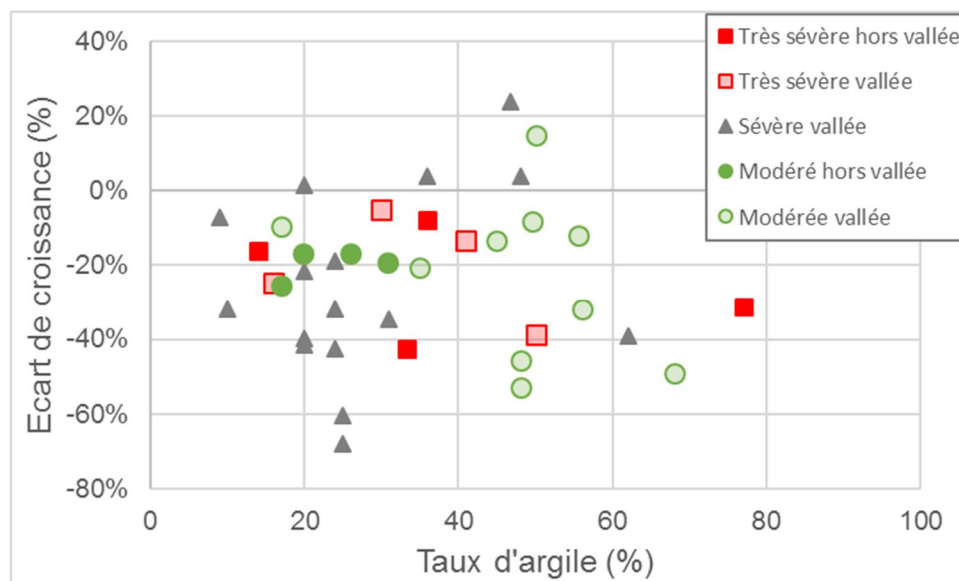


Figure 13 : relation entre le taux d'argile et les pertes de croissance de 2003 en distinguant les niveaux de stress et les types de station

Nous disposons de deux essais de comparaison de densités, distants de quelques kilomètres seulement, et âgés respectivement de 13 et 12 ans à fin 2003 (essais 72035 et 72040) sur lesquels le matériel génétique (clone Unal) et les conditions sylvicoles sont identiques. La seule différence importante est la station et notamment la texture du sol : argile lourde sur l'essai 72035 (56 % d'argile en surface) et sable argileux sur l'essai 72040 (69 % de sable en surface) donc une texture beaucoup plus équilibrée. On note sur l'essai 72035 un net recul de l'accroissement en 2003 (qui redevient « normal » en 2004). Ce recul est beaucoup plus faible dans l'essai 72040 (figure 14).

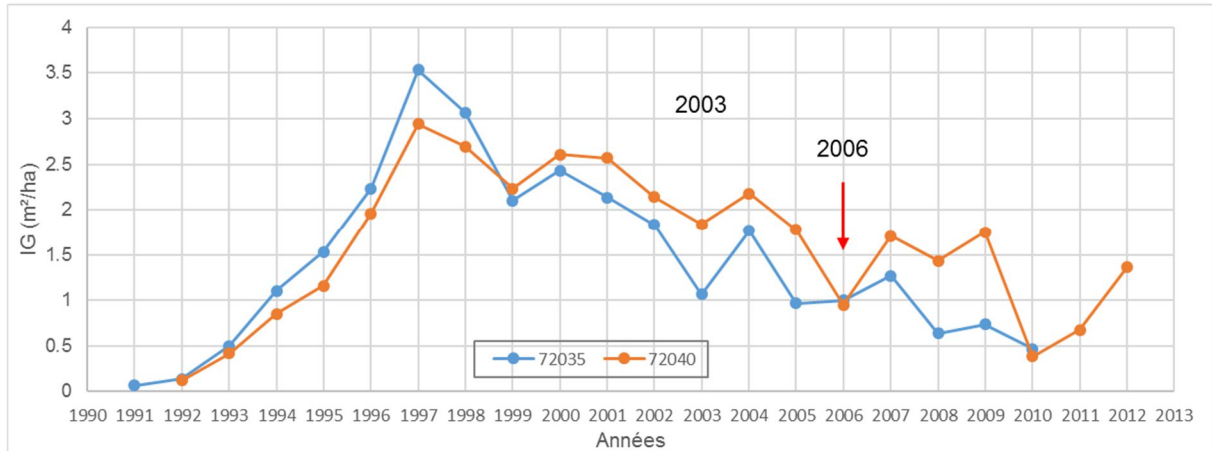


Figure 14 : Accroissement sur 2 essais différant uniquement par la texture : argileuse (72035) et sableuse (72040)

Deux explications peuvent être avancées : une baisse brutale de la nappe, mais une telle baisse aurait dû affecter également les deux sites, ou la formation, dans les textures « extrêmes » (argile lourde) de larges fentes de sécheresse, qui auraient pu endommager le système racinaire superficiel.

En 2006 on observe l'effet inverse : effet très marqué sur l'essai 72040 et presque insignifiant sur l'essai 72035. Cette année-là, l'indice de sécheresse du sol pour le 3^{ème} trimestre était de -1,00 sur l'essai 72035 (-0,20 en 2003) et -0,65 sur l'essai 72040 (-0,35 en 2003), ce qui indique un stress plus sévère qu'en 2003.

Mais le stress n'était pas de même nature : températures extrêmes en 2003 mais avec des précipitations proches de la normale alors qu'en 2006 on a certes connu des températures élevées, mais aussi un déficit de précipitations sur le 2^{ème} trimestre (tout comme en 2010 et 2011). Les terrains argileux supporteraient donc mieux les manques d'eau (réserve utile du sol plus élevée) que les excès de chaleur.

3.3.3 Effet génétique

Sur les 62 essais étudiés, 19 sont des comparaisons de clones. Chacun de ces 19 essais permet de comparer le comportement des clones dans des conditions identiques : sur chaque site, un clone est représenté par une, deux ou trois parcelles d'au moins 9 plants. Dans cette étude, les parcelles ayant subi une mortalité trop importante sont écartées.

L'effet génétique est présenté sur la figure 15 : 38046 (6 ans en 2003). 12 clones sont comparés sur ce site.

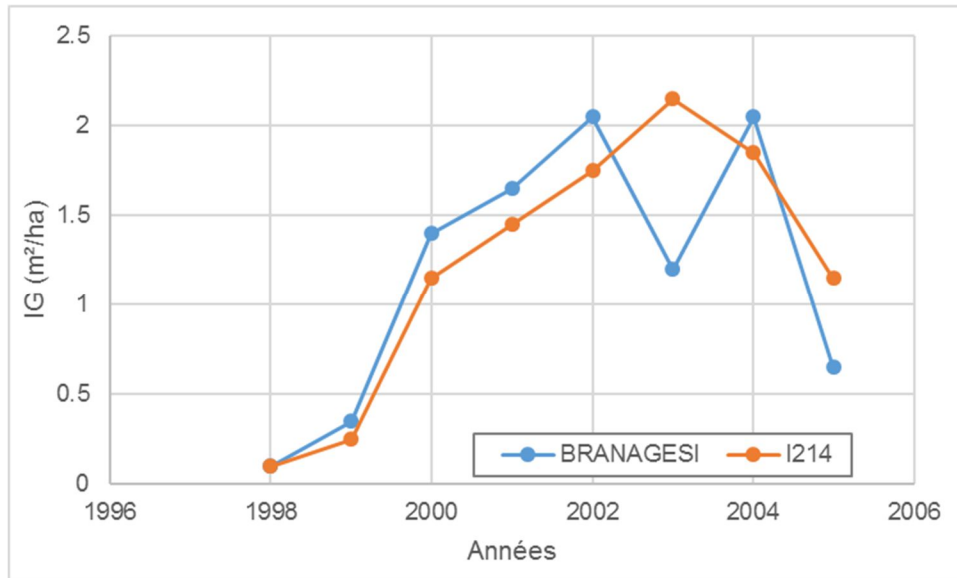


Figure 15 : Exemple de l'effet clonal sur la croissance sur l'essai 38046

Les 2 clones ont eu des croissances similaires jusqu'en 2002 avec une tendance à ce que Branagesesi soit légèrement supérieur à I214. En 2003, la croissance a très nettement chuté pour le clone Branagesesi alors que le clone I-214 semble avoir été très peu affecté.

En 2005, la chute est également plus importante pour Branagesesi que pour I214. La cinétique de croissance des peupliers fait que les accroissements sont maximums vers 6-8 ans puis diminuent progressivement. Une partie de la chute de croissance de 2005 est à imputer à cette loi de croissance, mais les conditions météorologiques ont pu amplifier le phénomène.

Tous les clones ne sont pas testés sur tous les essais et rares sont les clones présents sur plus de 3 sites.

Il est ainsi impossible de classer les clones en fonction de leur tolérance à des accidents climatiques, d'autant plus que des clones qui semblent relativement tolérants sur certains sites (donc dans des conditions bien précises) s'avèrent beaucoup plus sensibles sur d'autres.

Si on s'intéresse aux clones I-214 et Dorskamp qui ont été largement utilisés dans le passé et qui sont installés comme témoin sur la plupart de nos essais, on remarque qu'effectivement, selon les sites ce n'est pas le même clone qui des deux semble avoir le mieux résisté (figure 16).

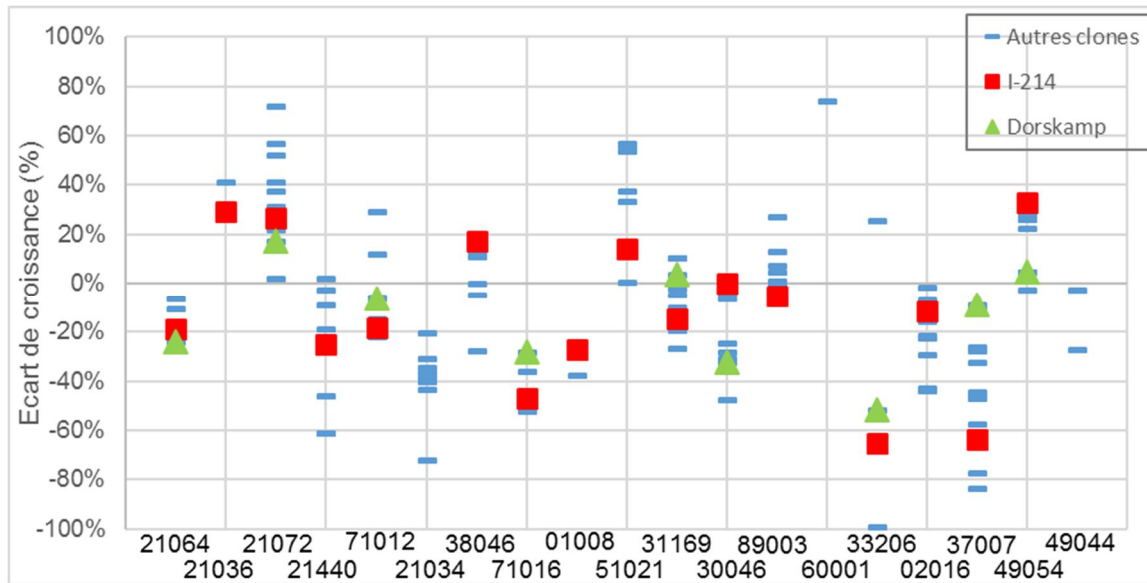


Figure 16 : Ecart de croissance (par rapport à la croissance estimée) par clone pour les 19 sites avec plusieurs clones

Ainsi sur l'essai 71016 (Saône-et-Loire), site où l'effet de la canicule a été particulièrement intense, les 2 clones ont connu une perte de croissance équivalente.

Sur l'essai 37007 (Indre-et-Loire) où l'effet de la canicule a été plus modéré, la perte de croissance a été plus importante pour I-214 que pour Dorskamp. Sur l'essai 30046 (Gard) où l'effet de la canicule a été relativement intense, I-214 semble avoir été très peu impacté alors que l'effet a été assez net pour Dorskamp (figure 17).

Le Dorskamp est connu pour sa bonne tolérance à la sécheresse, tandis que I-214 est plutôt considéré comme très sensible. Les résultats observés ici tendent à montrer que deux effets négatifs peuvent entrer en jeu : la sécheresse et les fortes températures. Dans l'essai 71016, la sécheresse est telle que les deux clones ont des pertes de croissance équivalentes. L'essai 37007 représente plutôt la situation « attendue », le clone Dorskamp supportant mieux la sécheresse, en l'absence de température très élevée. Pour l'essai 30046 (Gard), il est possible que Dorskamp ait moins bien supporté les fortes températures que I-214, tandis que l'alimentation en eau était assurée (au vue de la croissance normale de I-214).

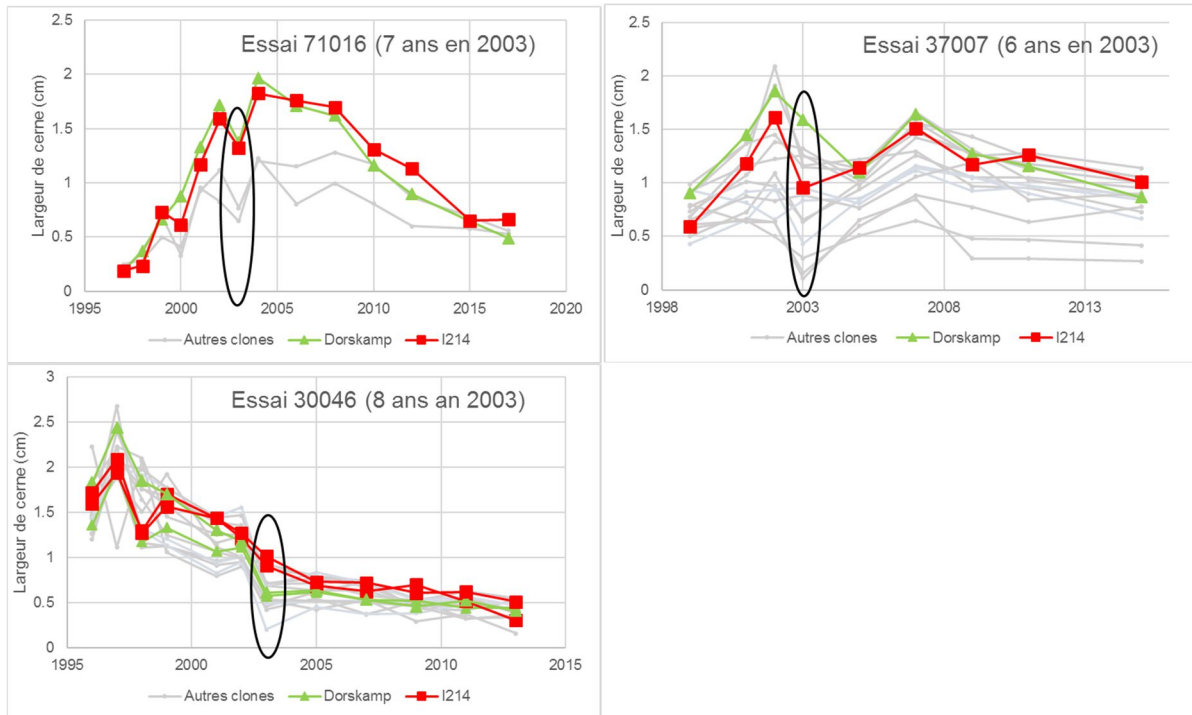


Figure 17 : Comparaison des réactions des clones I-214 et Dorskamp à la canicule de 2003 sur 3 sites

3.3.4 Effet de la densité

Sur les 62 essais étudiés, 22 sont des tests de densités. Sur chacun de ces sites, 3 à 5 densités différentes comprises entre 156 et 625 arbres / hectare sont comparées. Sur tous ces essais la perte de croissance est la même quelle que soit la densité.

Par exemple pour l'essai 21029 (Côte d'Or) où 4 densités sont expérimentées (200, 250, 300 et 350) sur clone Raspalje, la réaction est la même pour les 4 densités avec une petite perte de production en 2003 mais surtout un ralentissement brutal de la croissance en 2005 (figure 18).

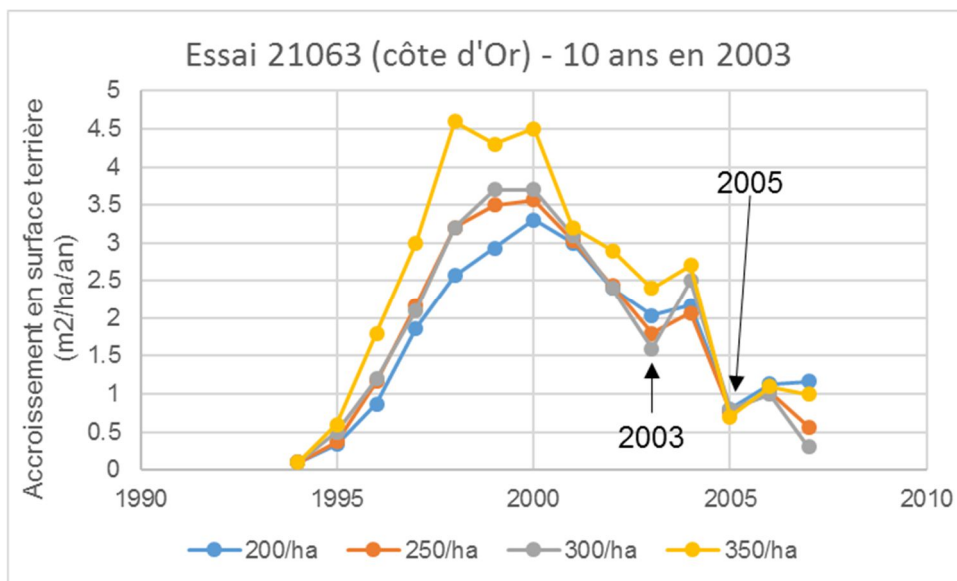


Figure 18 : Accroissements courants en surface terrière pour les 4 densités de l'essai 21063

On aurait pu s'attendre à un effet plus sévère sur les densités élevées, mais rappelons que dans ces gammes d'âge et de densités, la compétition ne conduit pas encore à des mortalités des tiges dominées.

4. Résultats Douglas

4.1 Effets sur la croissance

Pour les sites concernés, au niveau météorologique (Figure 19):

- L'année 2003 l'indice d'humidité des sols a été très bas sauf sur les sites situés dans le Périgord et dans la Creuse
- Le 2^{ème} trimestre 2011, l'indice d'humidité des sols a été très bas sauf dans le Tarn. Ceci reflète un déficit de pluviométrie qui a été rattrapé au 3^{ème} trimestre.

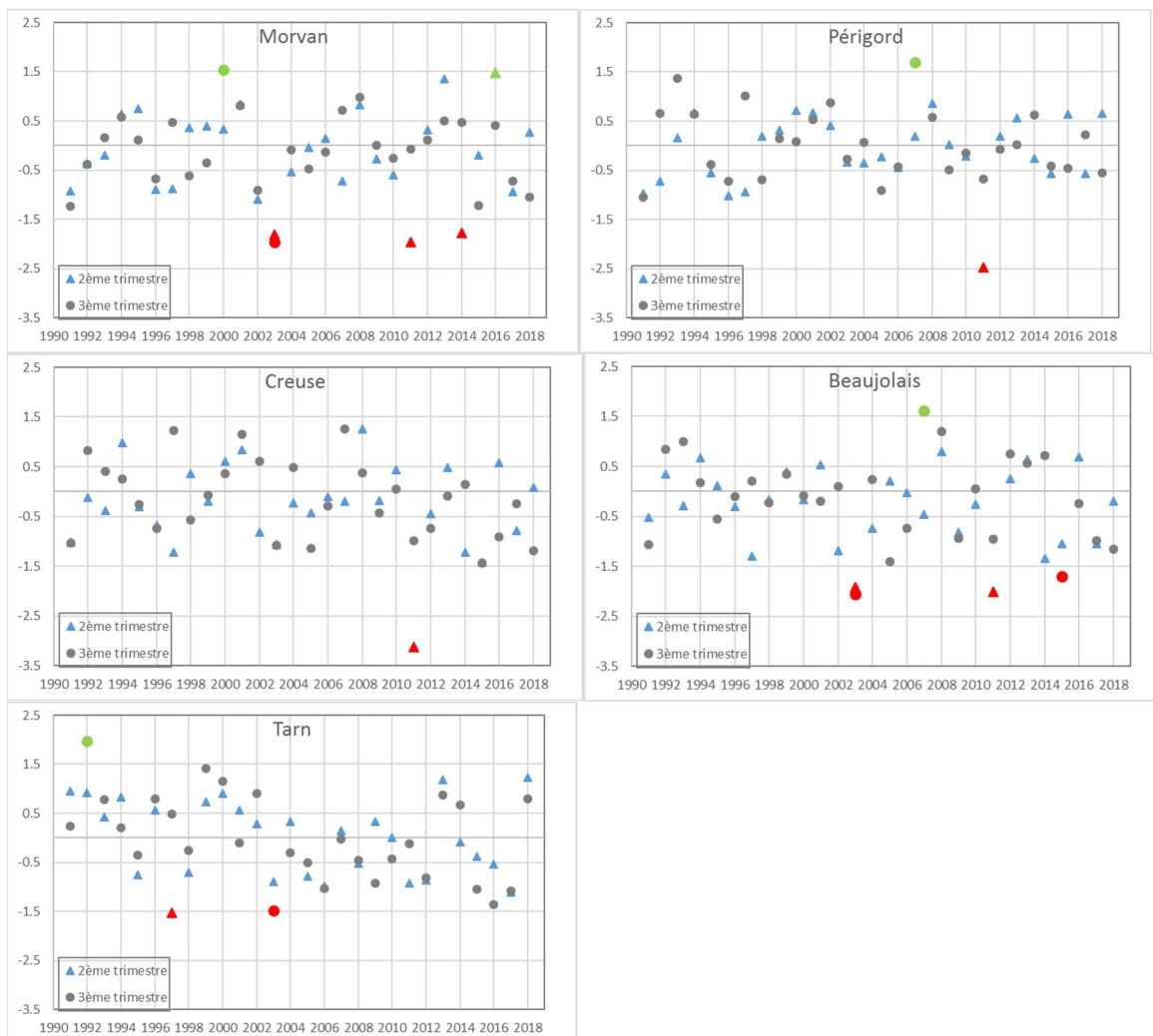


Figure 19 : indice d'humidité des sols pour les 2^{ème} et 3^{ème} trimestres

L'indicateur auquel nous nous intéressons est la largeur de cerne.

Cette largeur de cerne varie essentiellement en fonction de 3 facteurs :

- L'âge : chez le douglas, les largeurs de cerne atteignent un maximum vers une dizaine d'années puis diminuent régulièrement avec l'âge.
- La densité du peuplement : plus il y a de concurrence et plus la croissance (en diamètre) de chaque arbre est faible. Le but des éclaircies est de diminuer la densité du peuplement pour favoriser la croissance diamétrale des arbres restants.
- Les conditions météorologiques.

Sur les 3 zones dans lesquelles la canicule de 2003 a eu un impact marqué sur les sols (Morvan, Beaujolais et Tarn), seuls les essais situés dans le Morvan semblent avoir été impactés en termes de croissance, même si la croissance avait déjà commencé à ralentir l'année précédente (figure 20). L'une des explications réside peut-être dans le fait que les essais du Beaujolais et du Tarn sont situés à une altitude un peu plus élevée (plus de 700 m alors que les essais du Morvan sont situés à moins de 500 m). De plus, dans le Morvan, les effets de la canicule ont pu être amplifiés par un déficit de précipitation sur le même mois (moins de 40% des normales alors que l'on était à 78% des normales dans le Beaujolais et à 92% dans le Tarn).

La sécheresse des sols du printemps 2011 n'a pas eu d'impacts visibles sur la croissance, sans doute parce que l'été de cette même année a été relativement pluvieux.

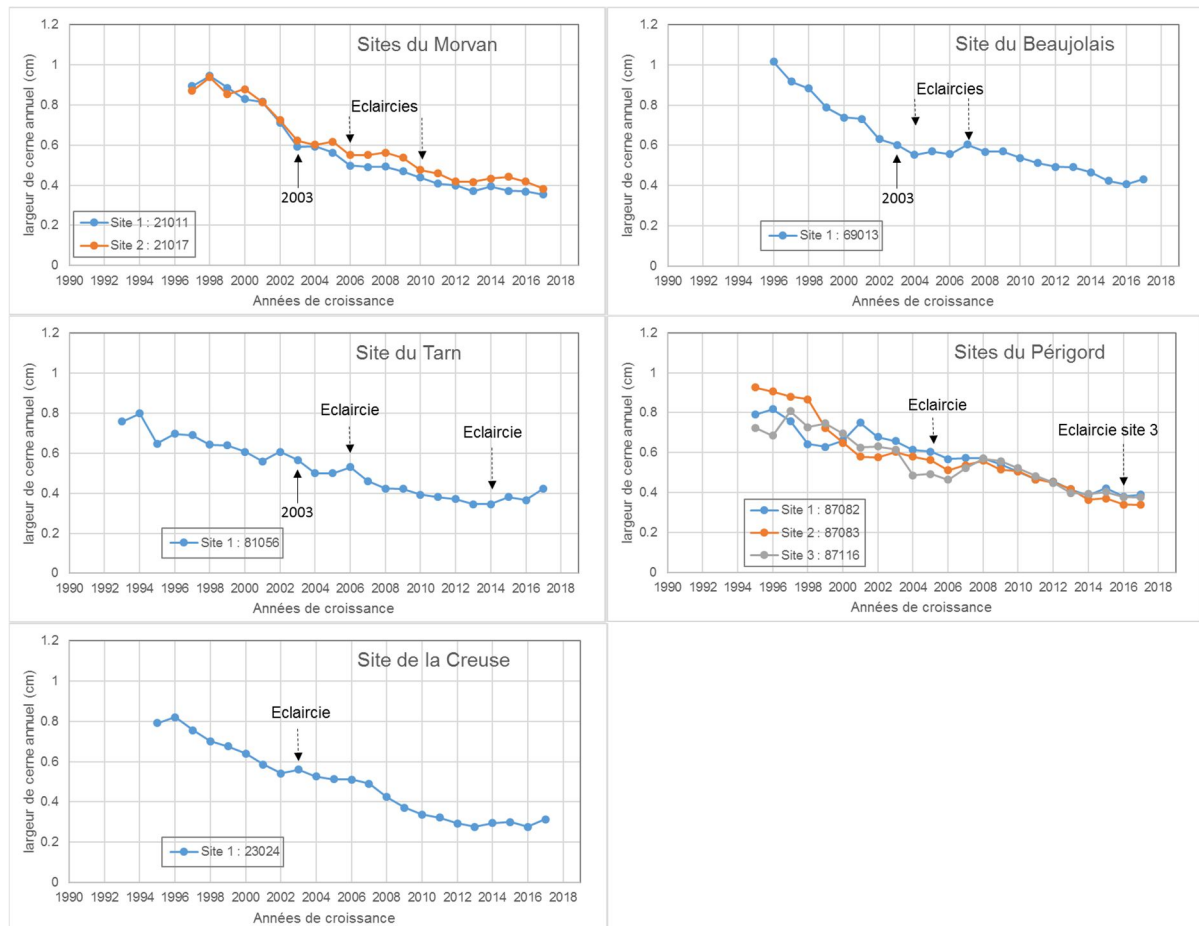


Figure 20 : évolution des largeurs de cernes moyennes sur les 8 essais

Au final, les impacts les plus importants sur la croissance sont ceux liés aux éclaircies. Sur tous les sites, on note après les éclaircies une stabilisation des accroissements sur quelques années.

4.2 Dépérissement

Mais la succession de ces sécheresses et canicules peut sur le douglas entrainer des dépérissements. C'est ce que l'on a observé sur un site situé dans le département de l'Aube. Il s'agit d'un essai d'éclaircie planté en 1966 dont les premières mesures datent de 1982, année de la première éclaircie.

En 2011, les premiers signes de dépérissements ont été observés sur quelques arbres. Ces arbres ont été enlevés, mais en 2014 de nouveaux dépérissements ont été observés et la parcelle a été coupée. En 2011, cette parcelle a été visitée par un correspondant local du DSF (Département de la Santé des Forêts dépendant du Ministère de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire) et la cause envisagée était la canicule de 2003 et les sécheresses récurrentes depuis cet évènement climatique.

Si toutes les classes de diamètres sont touchées par ce phénomène, les gros arbres (arbres dont le diamètre est supérieur à 45 cm) semblent un peu plus épargnés : 12,5% d'arbres dépérissant dans ces arbres dominants contre 23,0% dans les autres classes de diamètre (figure 21).

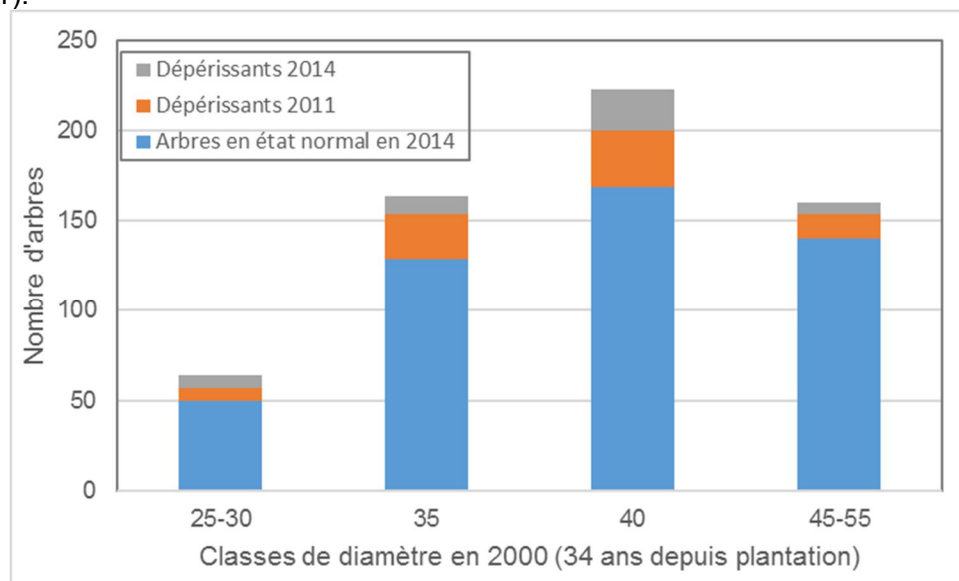


Figure 21 : Etats des arbres en fonction de leur taille en 2000

Sur ce site, nous ne disposons pas de mesures annuelles donc les accroissements que l'on peut calculer sont des accroissements moyens sur plusieurs années.

Quatre éclaircies ont été réalisées sur ce site (1982, 1988, 2003 et 2010) et ont donc eu une influence sur la croissance.

Si l'on s'intéresse aux arbres toujours en place à l'issue de la quatrième éclaircie (2010) donc juste avant les premiers signes de dépérissement, on se rend compte que jusqu'en 2000 les arbres sains ou dépérissant ont eu la même croissance et que c'est à partir de la période 2000-2003 que les arbres dépérissant ont eu une croissance moindre (figure 22). C'est surtout vrai pour les arbres notés dépérissant en 2014. En 2011 ils avaient été notés sains, donc sans aucun signe visible de dégradation de l'état de la cime alors que leur croissance était déjà

ralentie par rapport aux arbres toujours notés sains en 2014. C'est la preuve que le dépérissement n'est pas un phénomène brutal mais qu'il est l'une des conséquences d'un affaiblissement de l'arbre dont les causes sont à aller chercher sur les années antérieures.

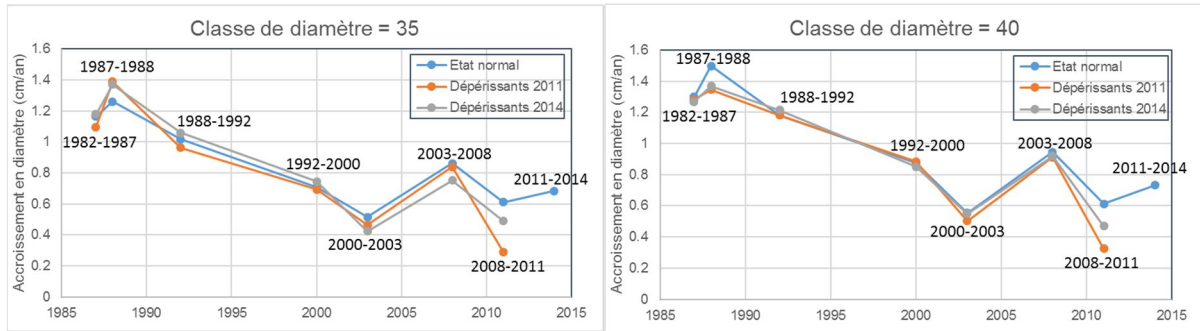


Figure 22 : Accroissements moyens par période selon la taille de l'arbre en 2000

5. Conclusions

Les conditions météorologiques exceptionnelles des étés 2003, 2005 et 2006 ont eu en général une influence néfaste sur la croissance des peupliers.

Les données recueillies régulièrement dans le réseau d'essai FCBA indiquent une perte de croissance moyenne (en surface terrière) de 18% en 2003, 14% en 2005 et 22% en 2006. Si l'on s'intéresse à la sécheresse de 1976, l'impact est finalement mineur en 1976 (perte de croissance moyenne sur nos essais de 3%) mais très importante en 1977 (perte moyenne de 30%).

En revanche, l'ampleur de cet impact est très différente selon les sites et les causes de ces différences sont multiples et avec probablement des interactions entre elles :

- Caractéristiques de l'évènement climatique : déficit pluviométrique ou températures élevées ou combinaison des deux, la date à laquelle il survient, l'historique climatique dans les mois voire les années précédentes,
- La station : l'alimentation en eau bien sûr, dépendante de la présence d'une nappe et de ses éventuels mouvements en période estivale, mais aussi la texture du sol,
- La génétique, par les besoins en eau spécifiques à chaque variété, mais aussi leur capacité à supporter de très fortes températures,
- L'âge à laquelle survient cet évènement climatique.

En revanche la compétition ne semble pas aggraver les pertes de croissance. Dans les dispositifs sur lesquels plusieurs densités de plantation ont été testées, les pertes de croissance sont de même ordre de grandeur pour toutes les densités.

Il est à noter que sur nos essais, il n'a pas été observé de mortalité imputable directement à ces évènements climatiques, sauf s'ils surviennent l'année de plantation.

Sur le douglas, même si nous disposons de moins de données, les impacts semblent moins évidents sur la croissance. Par contre, les dépérissements observés sur certaines parcelles sont probablement la conséquence de la répétition de ces évènements climatiques.

6. Références bibliographiques

AUSSENAC G. La sécheresse de 1976 : influence des déficits hydriques sur la croissance des arbres forestiers *Revue Forestière Française* 2/1978 pp. 103-114

BREDA N., GRANIER A. et AUSSENAC G. La sécheresse de 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysiological et influence sur les arbres forestiers *Revue Forestière Française* 2/2004 pp. 109-131

CHAUMET M. Déterminismes de la formation du duramen chez le douglas entre sylviculture et génétique. FCBA INFO 2020-14. <https://www.fcba.fr/sites/default/files/fcbainfo-2020-14-sylviculture-genetique-determinismes-duramen-douglas-chaumet.pdf>

DALLA-SALDA G., MARTINEZ-MEIER A., COCHARD H. et ROZENBERG P. Variation of wood density and hydraulic properties of Douglas-fir (*pseudotsuga menziesii*) clones related to a heat and drought wave in France. *Forest Ecology and Management* 257 (2009) 182-189

GASTINE F., BERTHELOT A., BOUVET A., La protection phytosanitaire du cultivar « Beaupré » est-elle efficace ? *AFOCEL Fiche Information Forêt n°2-2003*

GASTINE F., BOUVET A., DELEUZE C. et MONCHAUX P. Le réseau des essais AFOCEL fête ses 40 ans ! *Revue Forestière Française* 1/2003 pp. 47-56

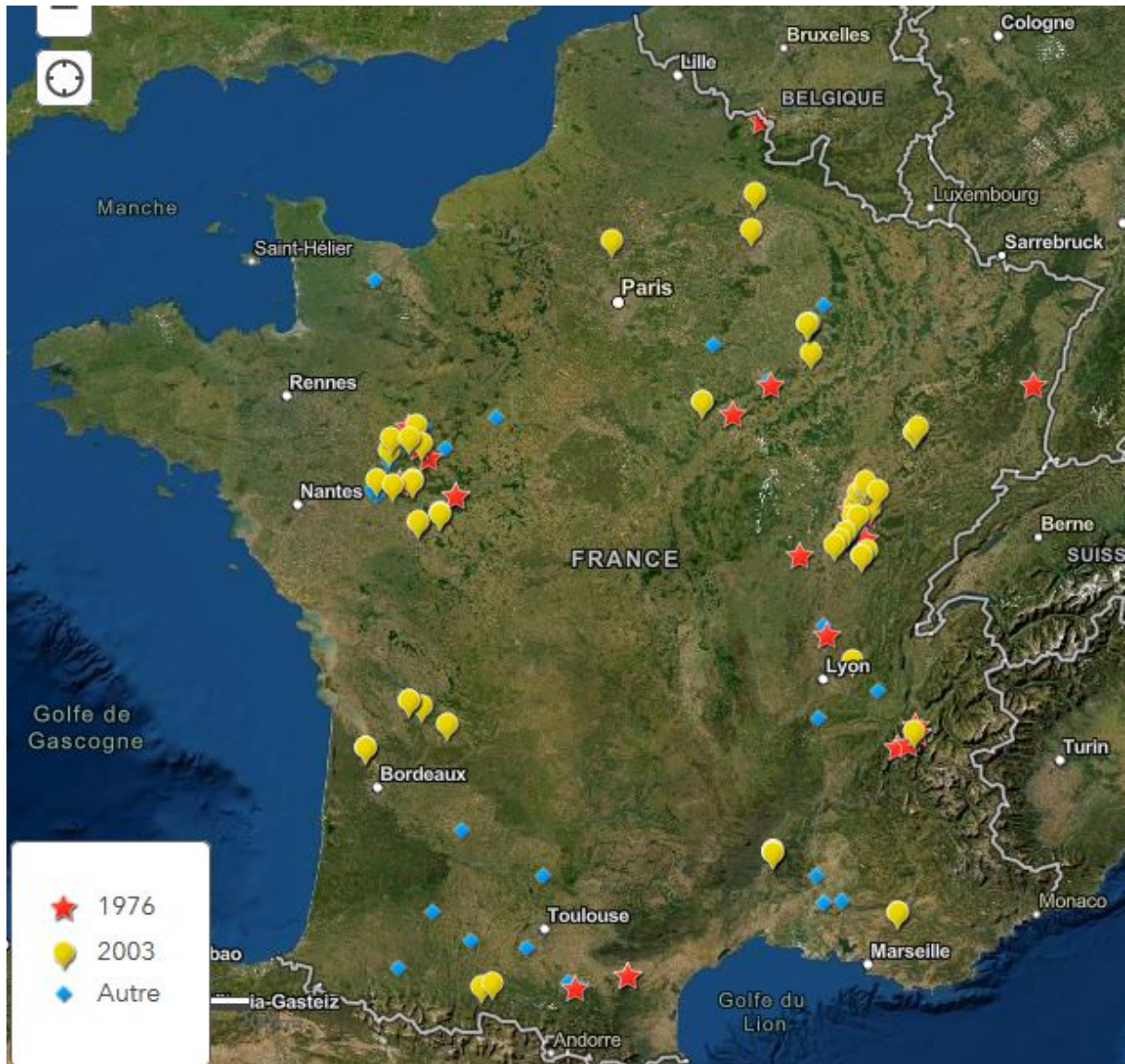
LANDMANN G., BREDA N., HOUILLER F., DREYER E. et FLOT J.L. Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelles conséquences pour les forêts françaises ? *Revue Forestière Française* 4/2003 pp. 299-308

METEO FRANCE Bilan météorologique de la canicule d'août 2003 *site internet* <http://www.meteofrance.com/FR/actus/dossier/archives/canicule2003/dos.htm#>

SERGENT A.S., BREDA N. Récent dépérissement du douglas : des sécheresses extrêmes et récurrentes en cause. *Forêt-entreprise* n° 208 – Janvier 2013

7. Annexes

Annexe 1 : localisation des essais peuplier étudiés



Localisation des essais étudiés en distinguant ceux utilisés pour l'étude de la sécheresse de 1976 et ceux utilisés pour l'étude des épisodes 2003, 2005 et 2006.

Annexe 2 : localisation des essais douglas étudiés



Dans le Morvan le point correspond à 2 sites distincts et dans le Périgord à 3 sites.