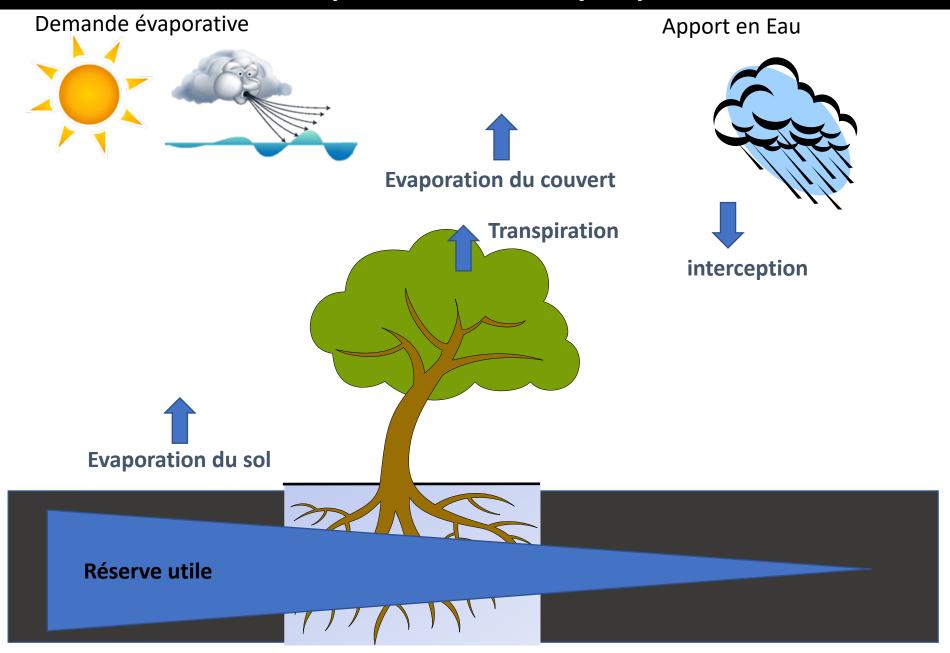
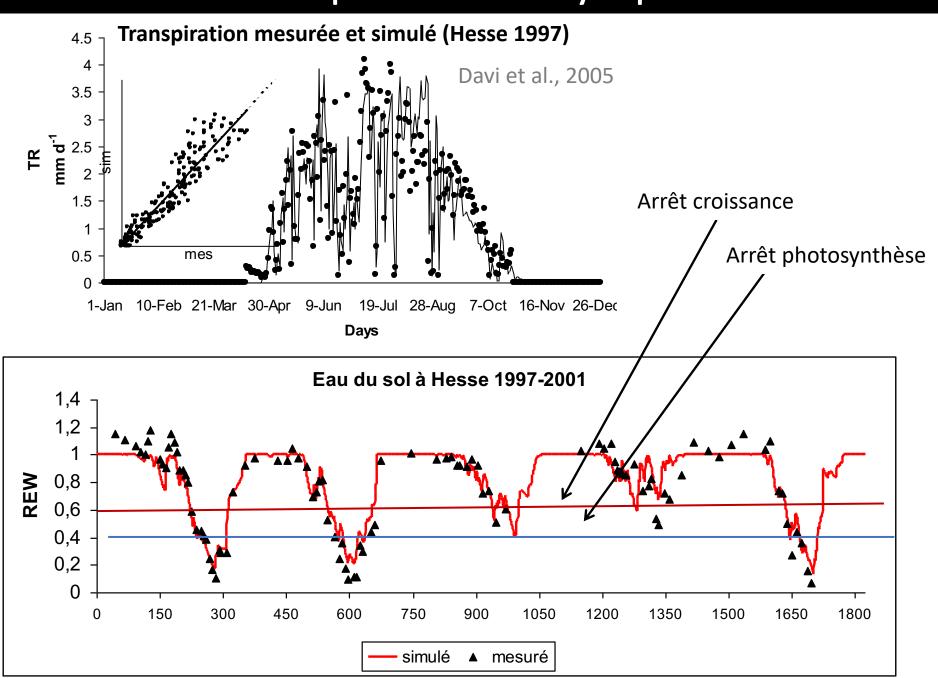
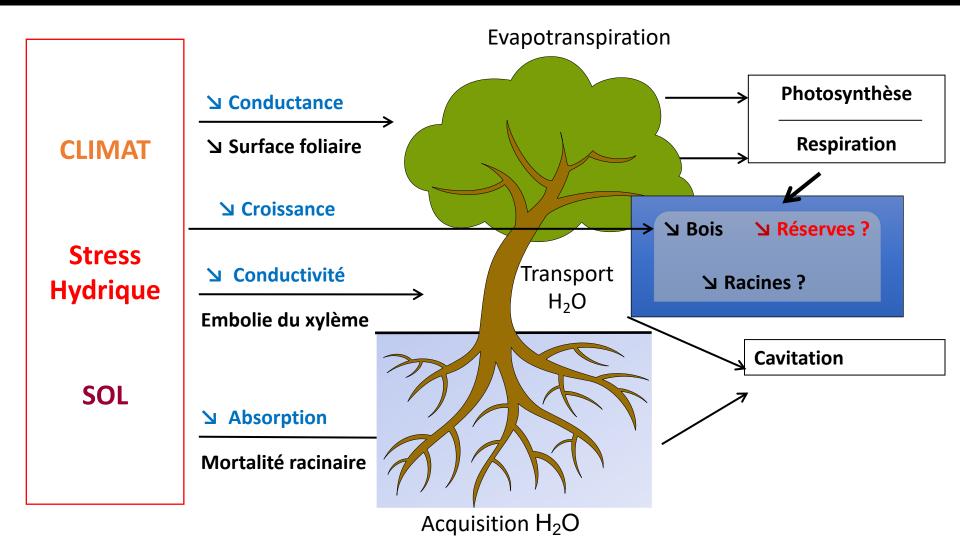


# PLAN

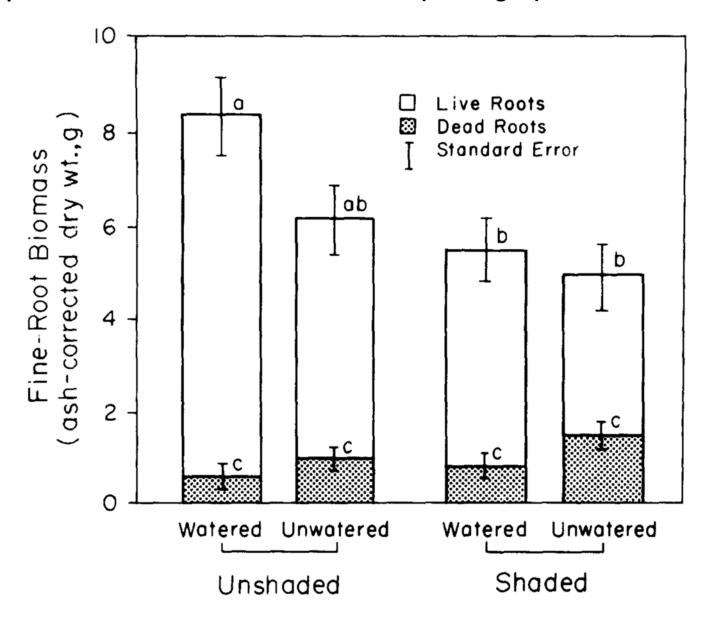
- L'adaptation au stress hydrique
- L'écophysiologie du Hêtre
- Le Hêtre aux marges chaudes
- La Massanne comme observatoire privilégié



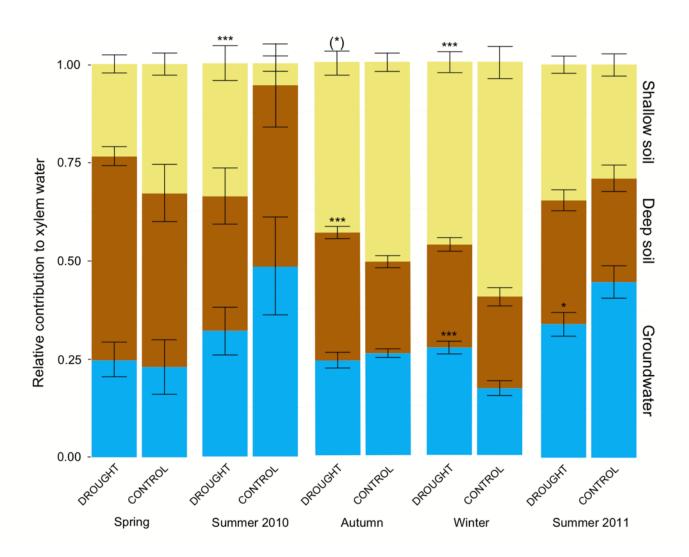




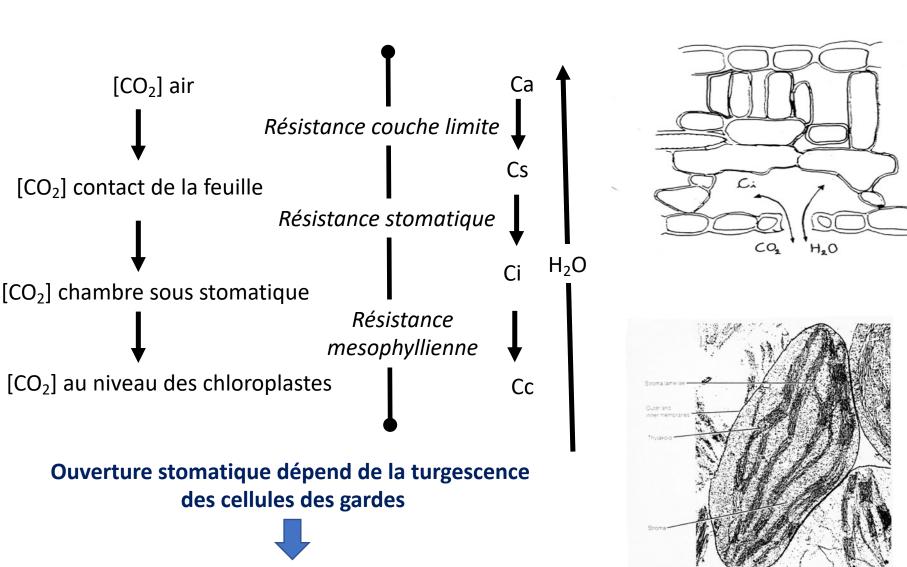
Impact de la sécheresse sur les racines fines (ex Douglas)



### L'absorption de l'eau



### La fermeture stomatique

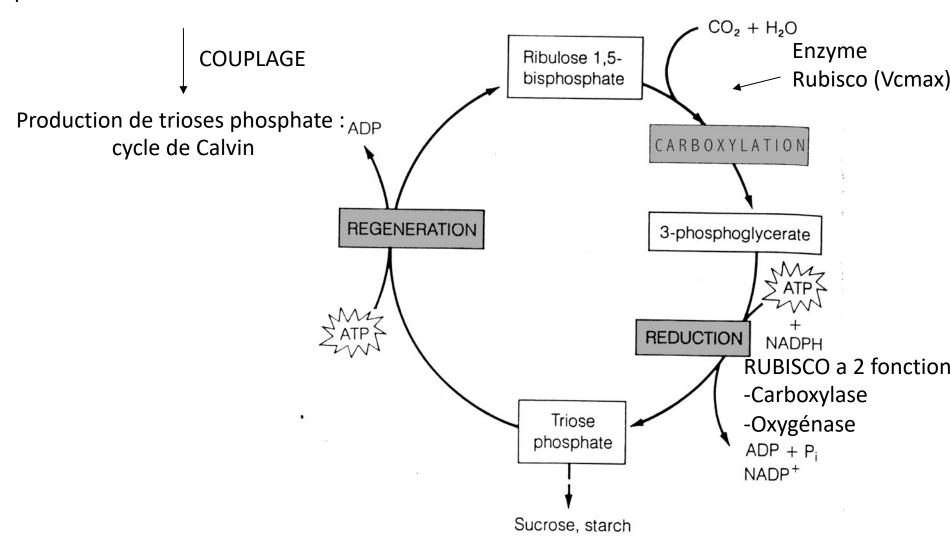


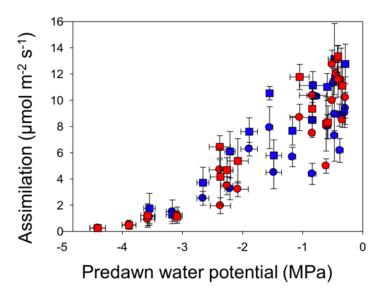
Contrôle le flux entrant en CO<sub>2</sub>

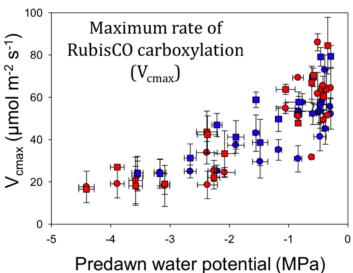
Flux sortant en H<sub>2</sub>O

### La carboxylation

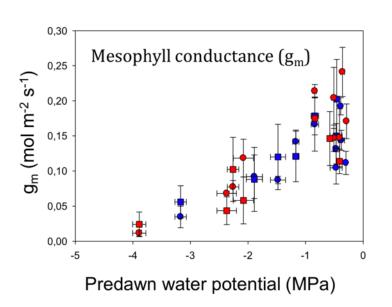
ATP et pouvoir réducteur (NADPH) produit au niveau de la chaîne d'électrons



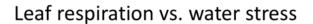


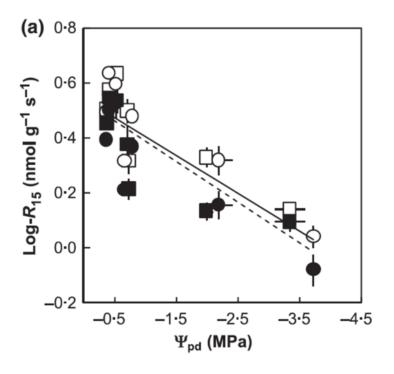




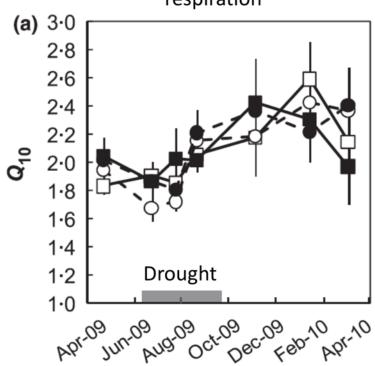


Dia de Limousin sur Chêne Vert



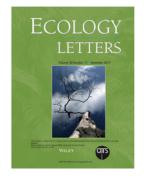


Temperature sensitivity  $(Q_{10})$  of leaf respiration

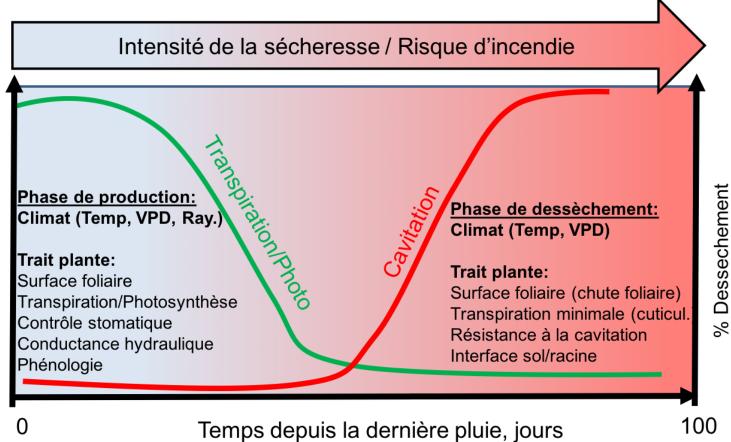


Rodriguez-Calcerrada et al. 2011, Func. Ecol.

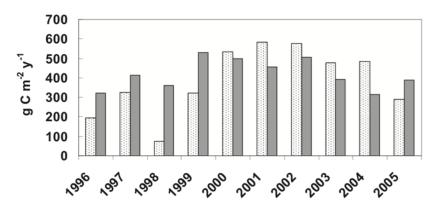
(Martin-StPaul et al. 2017)



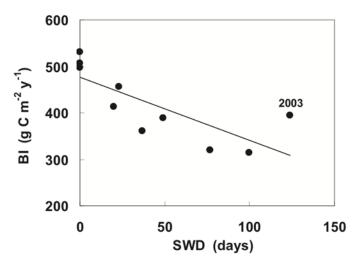
gazeux



100



**Figure 4.** Variation of the total annual tree biomass increment (BI) and net ecosystem exchange (-NEE) during the 10 years of measurements at the Hesse beech forest.

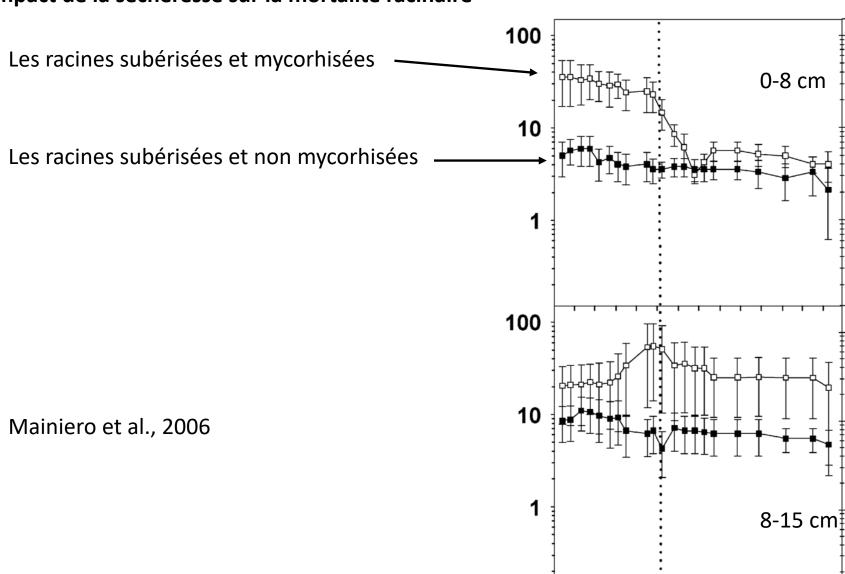


**Figure 5.** Relationship between annual biomass increment and soil water deficit duration during the growing period (SWD).

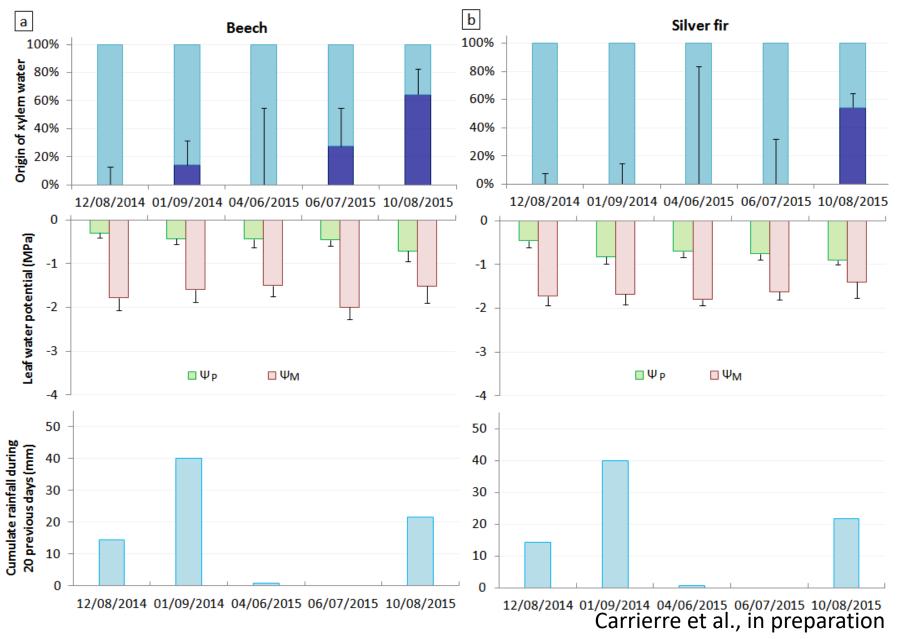
#### Résultats sur la tour à flux de Hesse

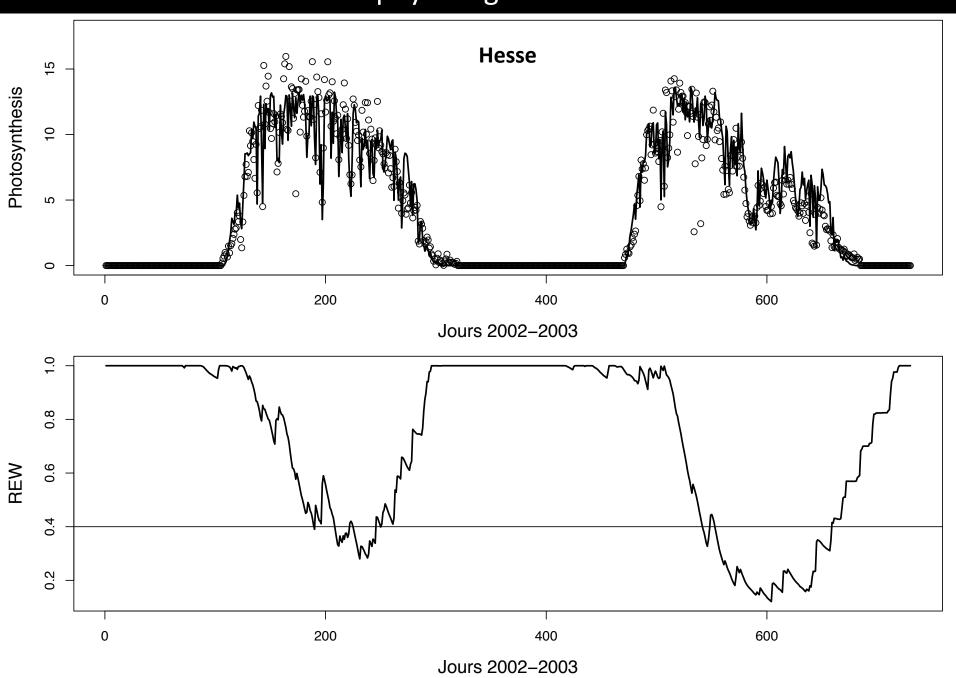
- Fort stockage de carbone
- Stockage et croissance partiellement découplé
- Croissance =f(stress hydrique)

### Impact de la sécheresse sur la mortalité racinaire

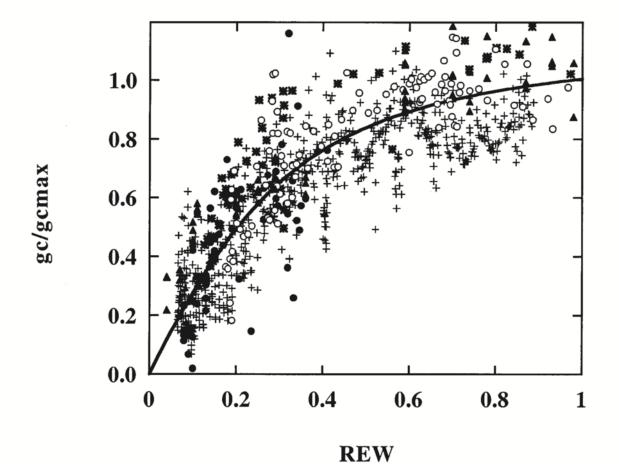


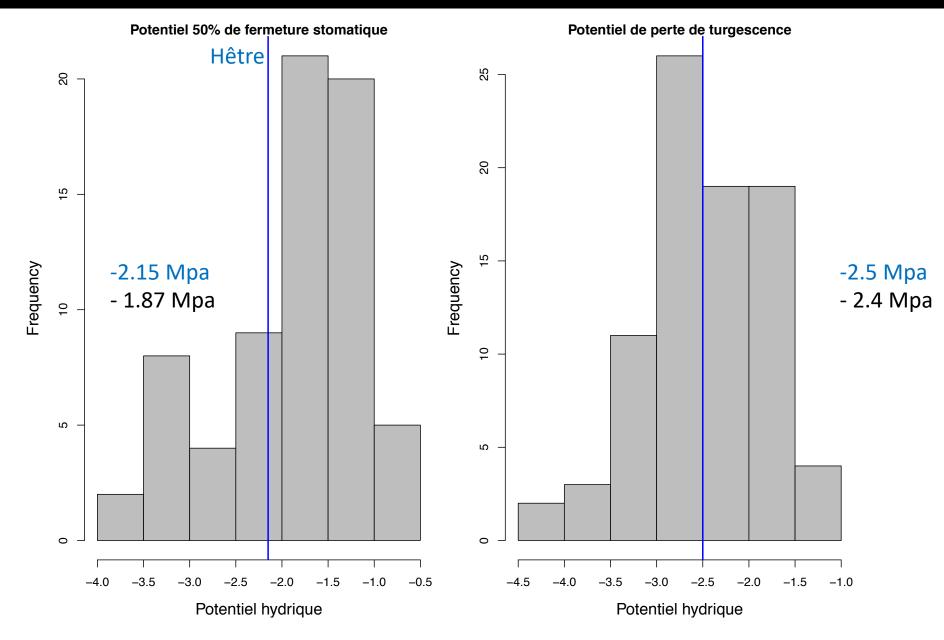
### Le Hêtre capable de puiser de l'eau dans le sous sol



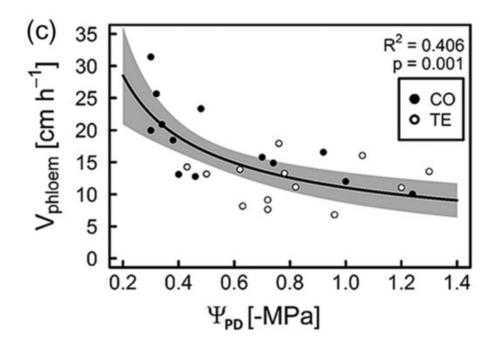


Le Hêtre ferme ses stomates un peu plus tard que les autres espèces





Klein et al., 2014



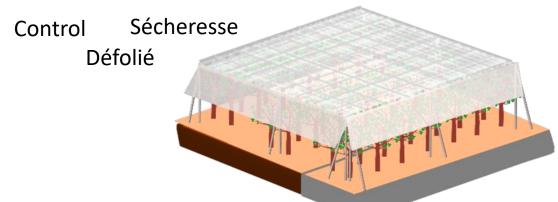
la corrélation positive entre Vphloem et ΨPD est due à une absorption plus faible d'eau des conduits phloèmiens lors de la sécheresse conduisant à une viscosité de la sève du phloème plus élevée et à un Vphloème inférieur.

Treatment

Oct.14 May 15 Oct.15 AB Tige année Tige année N-1 Ç D Dr. C D Dr.

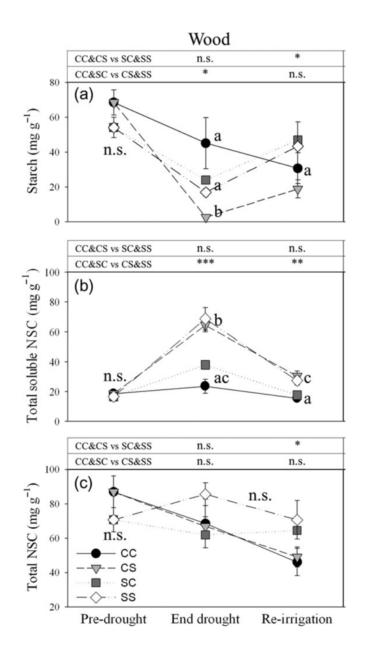
Fermeture des stomates n'a pas d'impact direct sur les réserves car la croissance s'arrête avant.

Peu de mortalité malgré le fort stress imposé

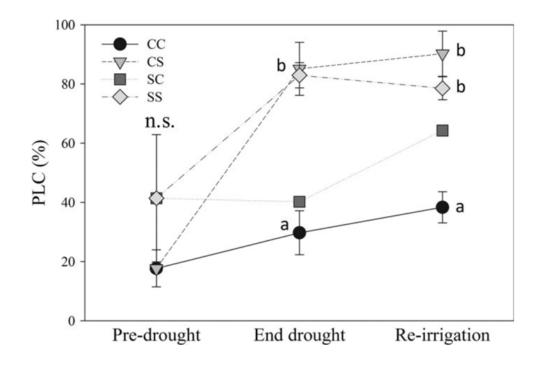




Thèse de Pierre Antoine Chuste

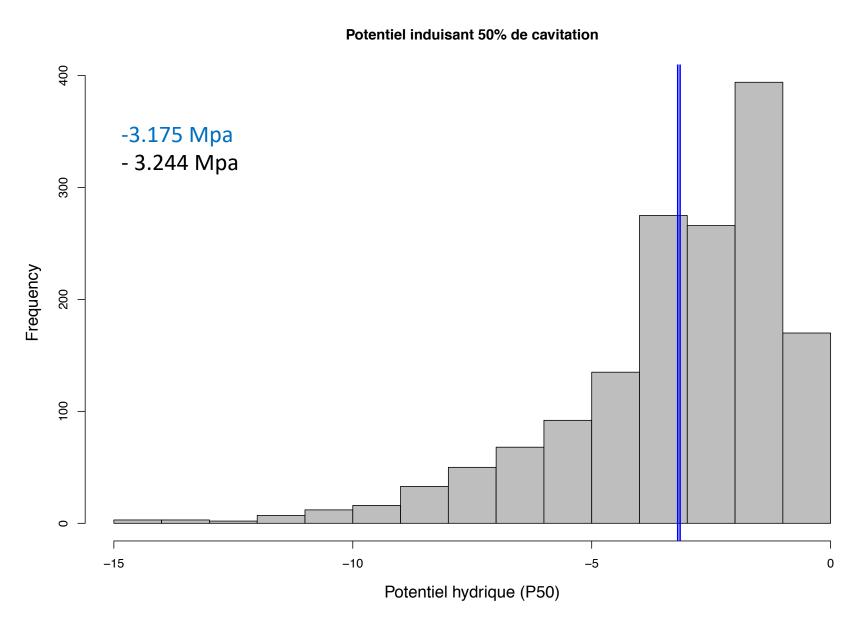


le hêtre ne peut pas récupérer des taux d'embolie élevés, mais plusieurs sécheresses augmentent la disponibilité du NSC de la tige.

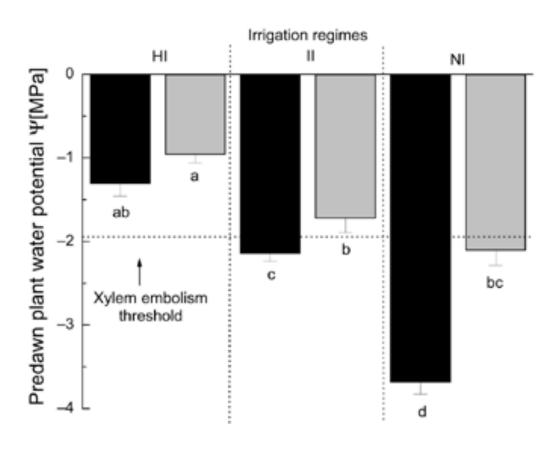


Tomasella et al., 2018

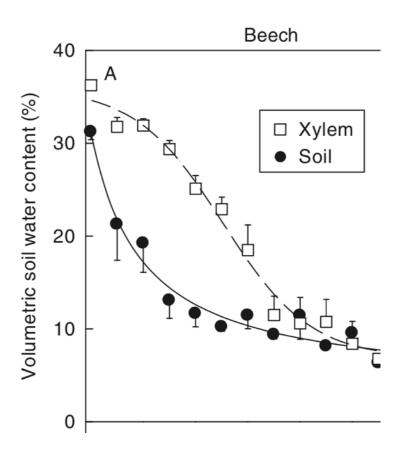
### Le Hêtre relativement résistant à la cavitation

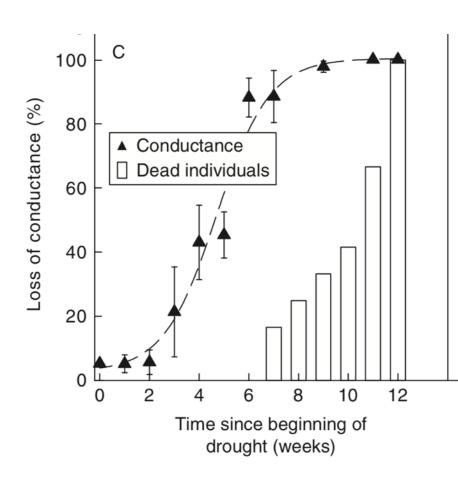


### Mais les semis peuvent vite emboliser

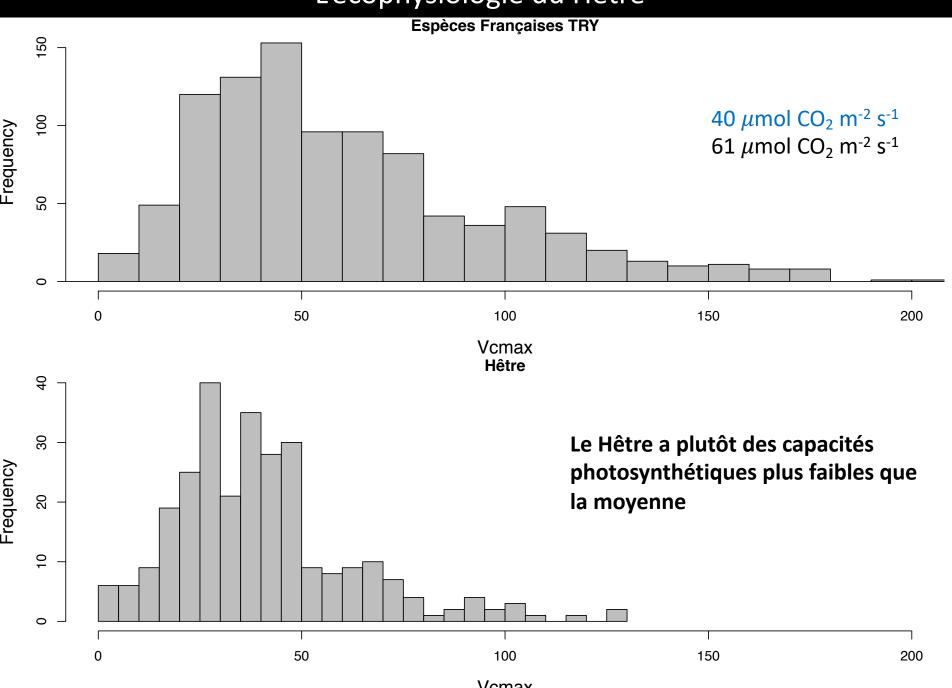


#### Cavitation et mortalité chez le Hêtre





Barigah al et al., 2013



Largeur de cerne = f (climat année n et année n-1)

			temperature												precipitation														intervall						
sites site groups	m a.s.l (plot No.)	previous year						)	year of tree ring formation								R²	previous year							year of tree ring formation								R²	of	
		J	A	S	0	N	D	J	F	- 1	M .	Α	M	J	J	Α	(%)	J	A	S	(	)	N	D	J	F	N	1	A	M	J	J	Α	(%)	calculation
Central Europe:	830	Ψ	4	1	1	Ψ	1	1	1	١,	Λ,	4	1	1	1	1	44	1	1	1	, ,	١,	Ł	1	Ψ	1	1		٢	4	4	4	Ψ	32	
high altitude sites <sup>a)</sup>	to 1240	2	3	4	2			1				1	3	1	4	2	(27-66)												3	1	1	3		(17-51)	1952-1995
Central Europe:	330	4	4	4	1	1	1	1	1	١,	١,	Ψ	Ψ	4	4	4	45	1	1	1	•	١,	₽	1	4	1	1	•	١	ተ	1	1	1	43	
low altitude sites <sup>a)</sup>	to 600	1	5	4	3	1			7	1				7	2		(21-67)	1	1					1	2	2	2 1			5	3	1	1	(28-69)	
Southern Europe: Gargano	790 (21)	1	1	1	Ψ	1	Ψ	1	1	,	<b>^</b>	<b>1</b>	ተ	Ψ	4	4	29	1	1	1	,	١,	1	Ψ	Ψ	1	1	, ,	٢	<b>1</b>	1	1	1	32	1930-1994
	580 (22)	1	1	1	Ψ	Ψ	1	1	. 1	,	ψ,	1	1	4	Ψ	•	36	1	1	1	. ,	1	٠	Ψ	1	1	4		٢	1	1	1	1	34	
Northern Europe: Skåne	160 (25)	Ψ	Ψ	1	1	Ψ	Ψ	1	1	١,	ψ,	<b>1</b>	1	1	4	4	28	1	1	1	•	,	↑	Ψ	Ψ	1	1	• •	r	1	<b>1</b>	1	1	19	
	150 (26)	1	1	1	1	Ψ	4	1	1	•	1	1	1	Ψ	Ψ	Ψ	13	1	1	4	•	,	1	Ψ	Ψ	1	1		r	1	1	1	1	15	1921-1995
	100 (27)	Ψ	Ψ	1	Ψ	Ψ	4	1	1	•	1	1	1	Ψ	Ψ	4	18	1	1	. 4		,	r	Ψ	Ψ	1	1		r	1	1	Ψ	1	24	
Western Europe: Pyrenees	950 (23)	Ψ	Ψ	1	1	1	1	1	, 1	١,	ψ,	1	<b>1</b>	Ψ	1	1	41	1	1	<b>,</b> 4	, ,	١,	1	<b>1</b>	Ψ	1	1	•	٢	Ψ	1	Ψ	Ψ	29	1946-1995
	1170 (24)	Ψ	Ψ	1	1	1	1	1	1	٠,	١,	¥	1	Ψ	1	1	45	1	1	1		V .	Ł	Ψ	Ψ	1	1	. ,	٢	Ψ	1	Ψ	4	28	
Eastern Europe: Carpathian Mts. Transsilvania	1400 (32)	Ψ	1	1	1	Ψ	4	1	1	١,	ψ,	<b>1</b>	<b>1</b>	1	Ψ	1	26	Ψ	1	1	,	١,	r	<b>1</b>	Ψ	1	1	. ,	٢	4	Ψ	1	1	19	1957-1996
	890 (36)	Ψ	Ψ	1	1	1	1	1	•	•	٠ ١	¥	Ψ	Ψ	1	Ψ	19	1	1	1	, ,	,	1	<b>1</b>	1	1	1		٢	1	1	1	1	29	1947-1995
	460 (35)	<b>1</b>	Ψ	Ψ	4	Ψ	1	1		,	1	4	4	4	4	Ψ	32	4	1	1	. ,	•	1	Ψ	Ψ	1	1		١	1	•	1	1	31	1910-1994

positive regression coefficients

negative regression coefficients

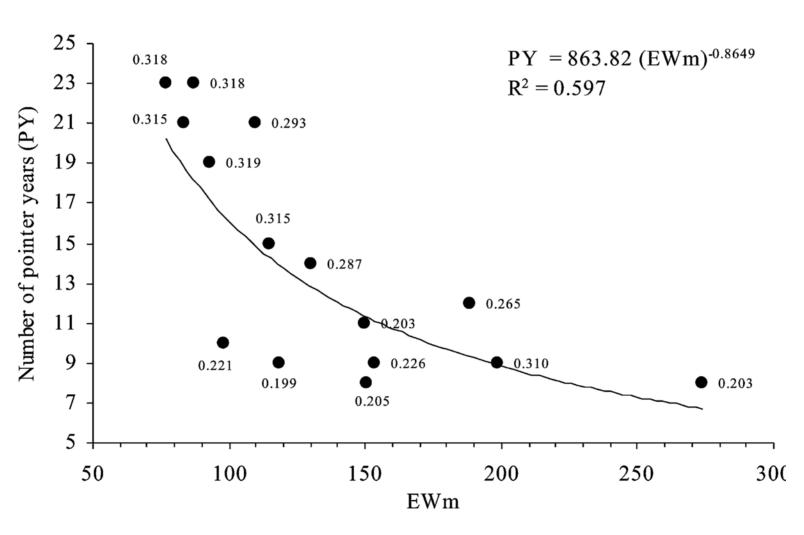
significant with P<0.05

for site groups:

direction of average regression coefficients signed as arrows, number of significant regressions coefficients given below

R² variance explained by climate (for site groups: mean and range of values [minimum - maximum] in parentheses are given)

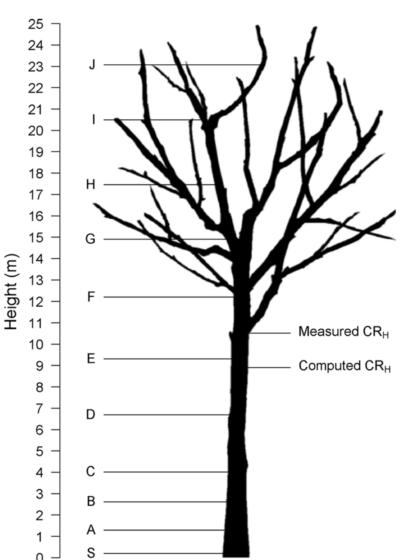
Relations entre le nombre d'années exceptionnelles et la RU (RENECOFOR data)



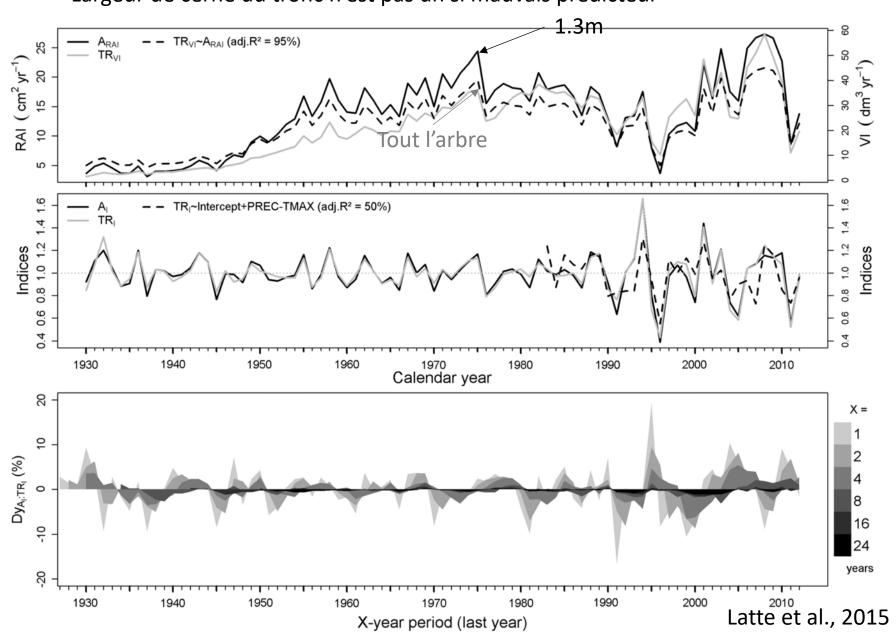
Lebourgeois et al.; 2005

La variabilité de la croissance du hêtre et sa sensibilité au climat sont beaucoup plus importantes dans la cime qu'à la base du du tronc.

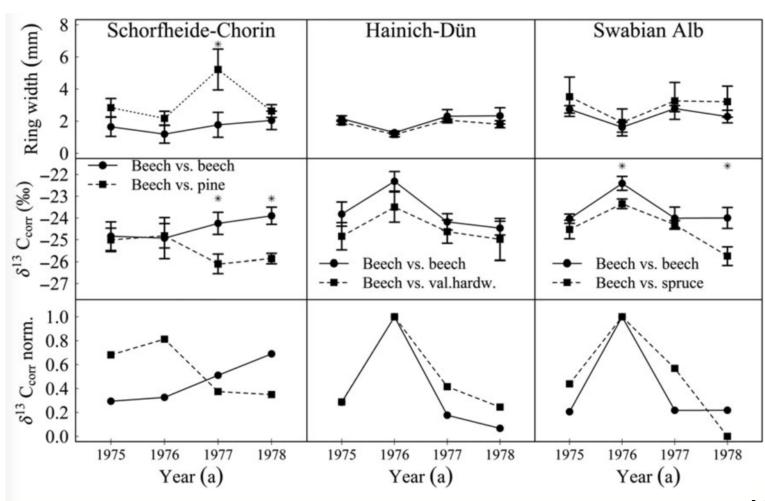
Les différences entre tronc et couronne sont els plus fortes les années de sécheresse



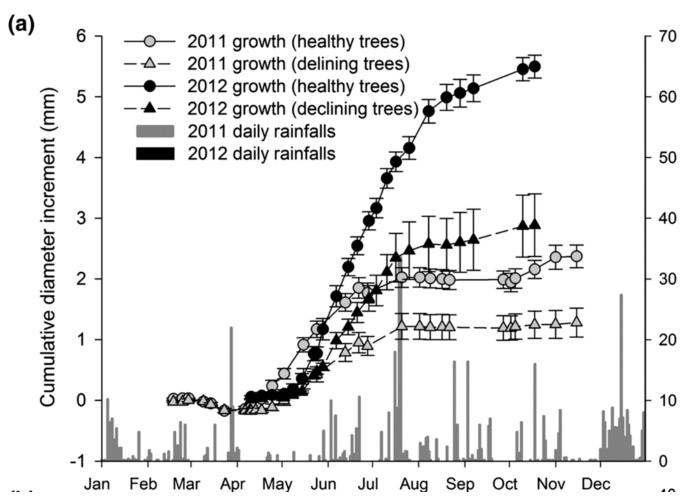
Largeur de cerne du tronc n'est pas un si mauvais prédicteur



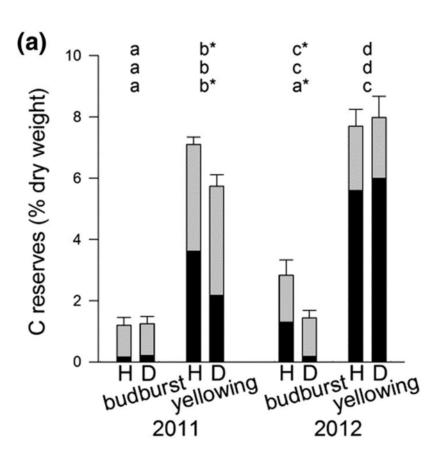
### Les mélanges limitent le stress hydrique

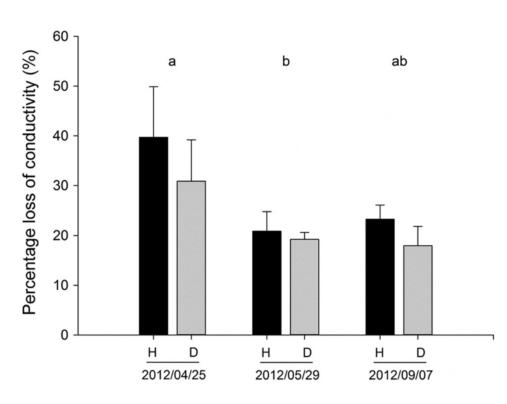


#### Croissance, sécheresse et défoliation à Fontainebleau

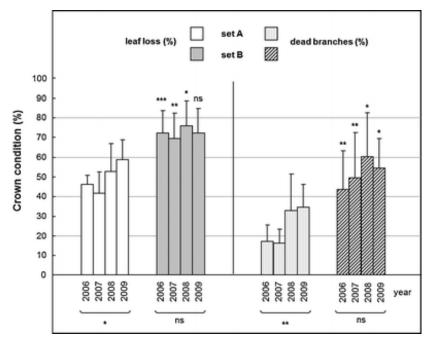


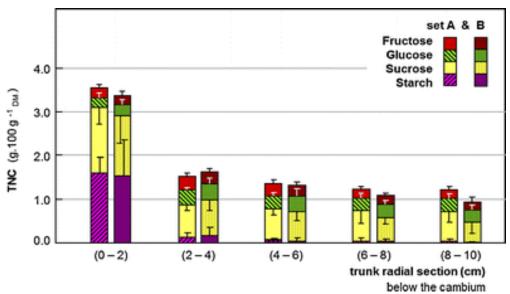
Défoliation ne touche pas les arbres ayant moins de réserves ou présentant plus de cavitation





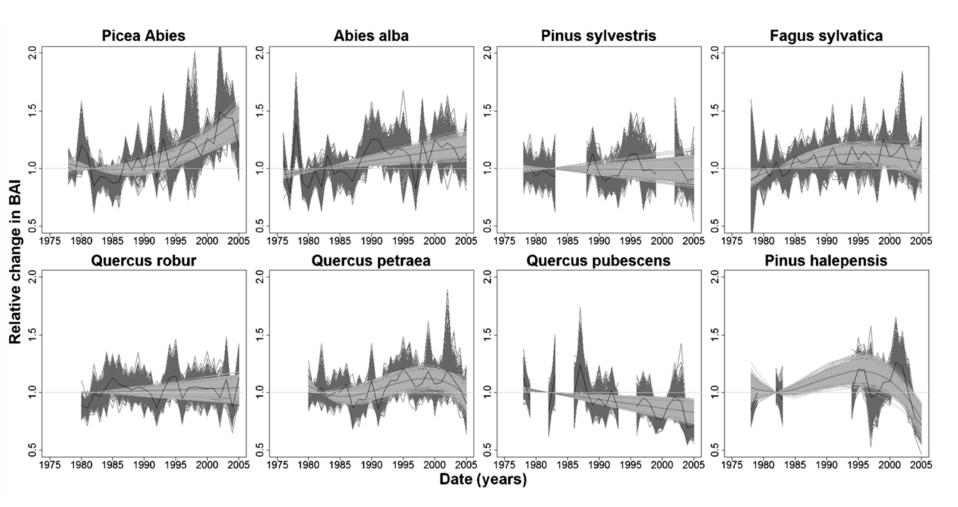
### Défoliation n'impacte pas sensiblement les réserves





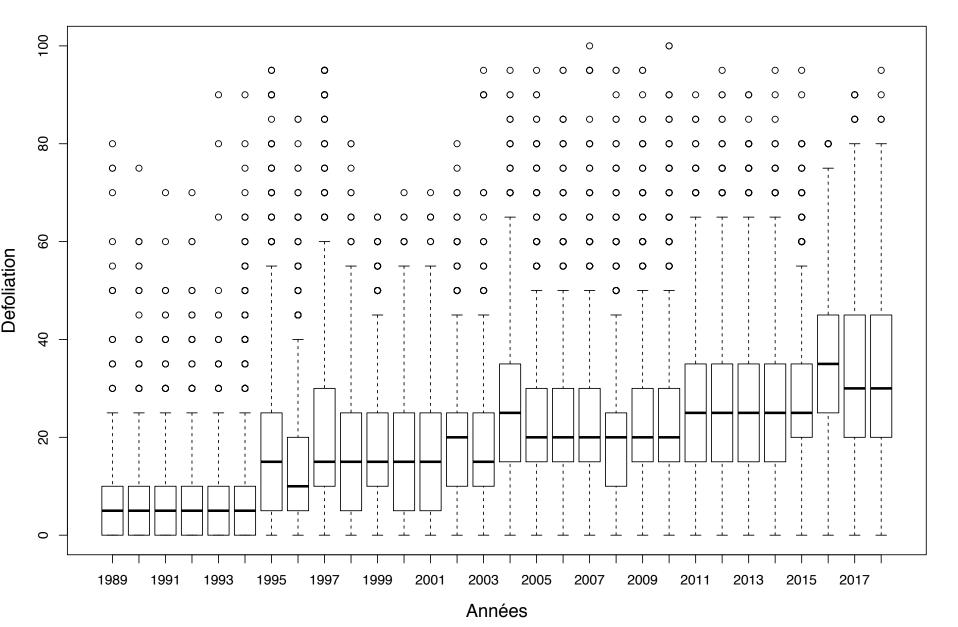
Gérard & Bréda (2014)

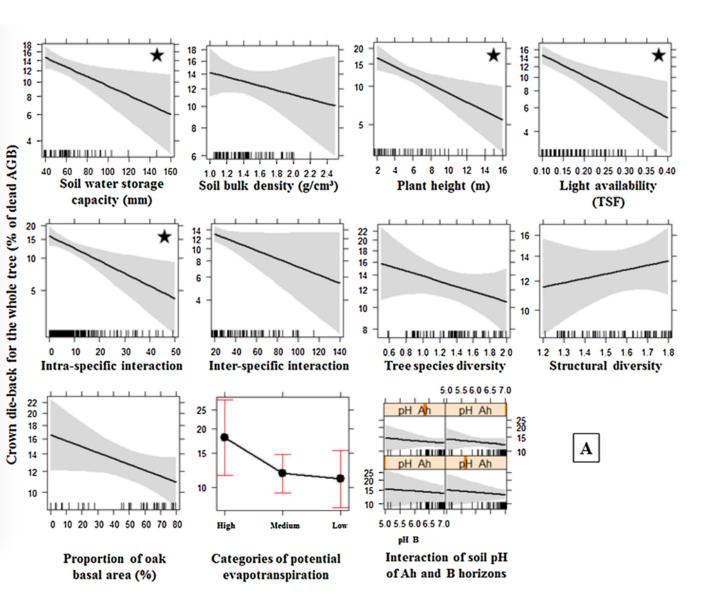
#### Une croissance en en légère baisse sur la période récente



Charru et al., 2017

Une augmentation de la défoliation par palier: 1997, 2004, 2011, 2016



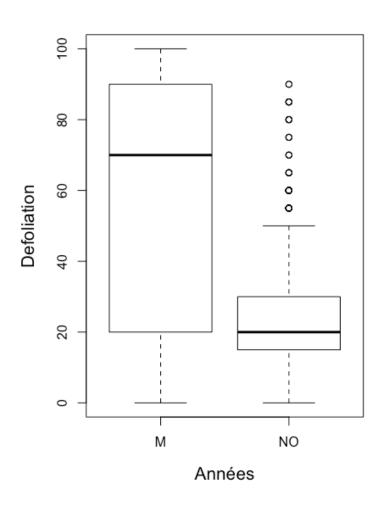


L'augmentation de la capacité de stockage en eau du sol et de la lumière réduit le dépérissement des cimes des hêtres.

Le dépérissement des cimes est réduit par la diversité des essences

La partie supérieure de la cime des arbres est plus vulnérable à la sécheresse du sol.

Les hêtres meurent après avoir franchi un seuil de 58% de dépérissement de la cime.



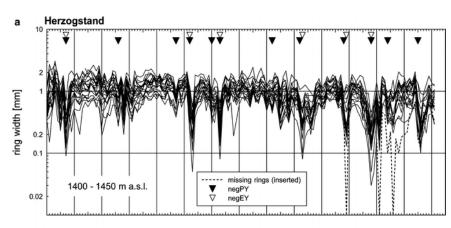
Données DSF

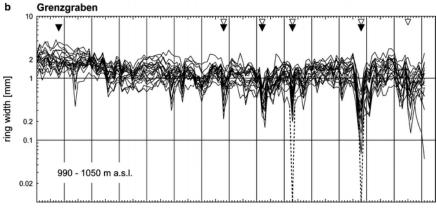
#### L'autre facteur limitant: les gelées tardives

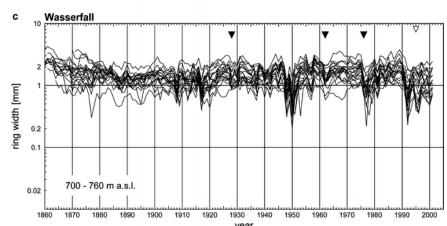
Les dommages causés par le gel tardif au hêtre commun peuvent être analysés rétrospectivement à l'aide de données phénologiques, de température et de cernes. Le gel printanier pendant ou immédiatement après le débourrement: des températures inférieures à -3 ° C provoque une forte réponse négative lors de la croissance radiale.

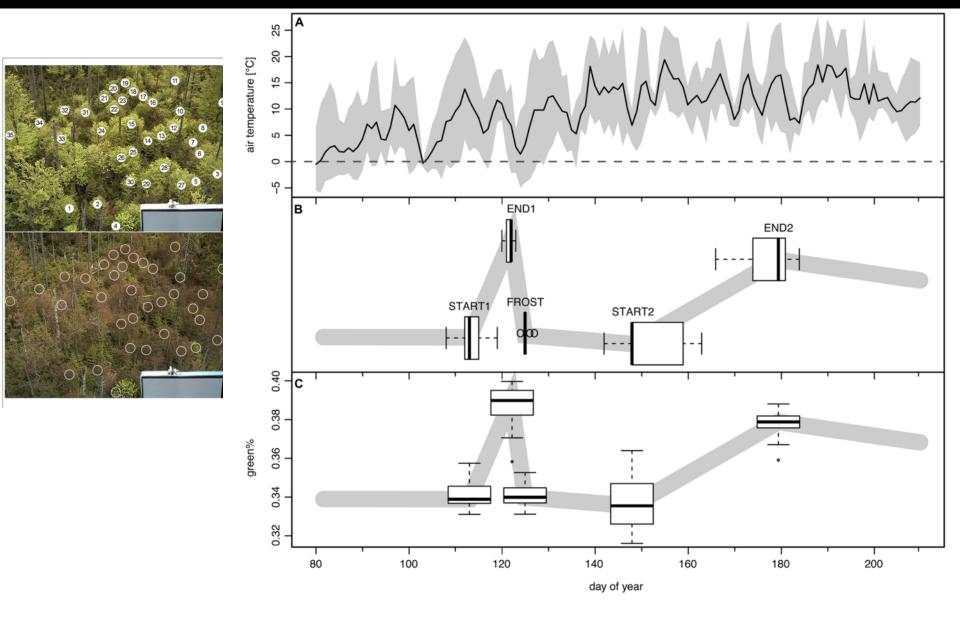
Au cours des dernières décennies, la fréquence et l'intensité des gelées de printemps n'ont pas augmenté

Dittmar et al., 2006





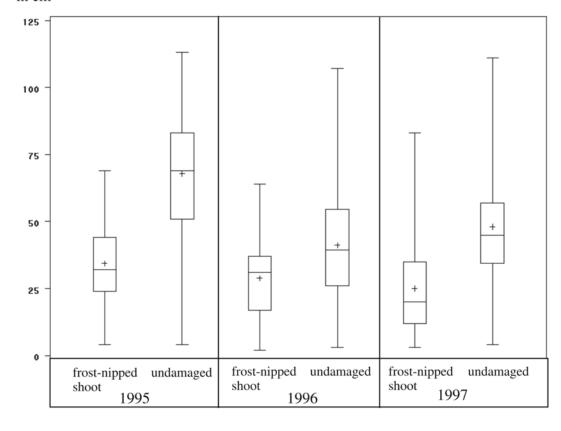


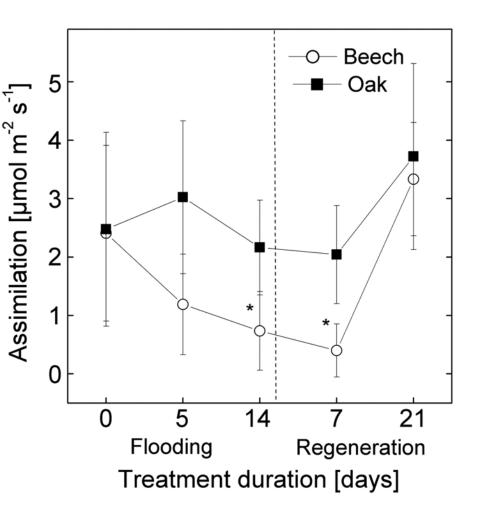


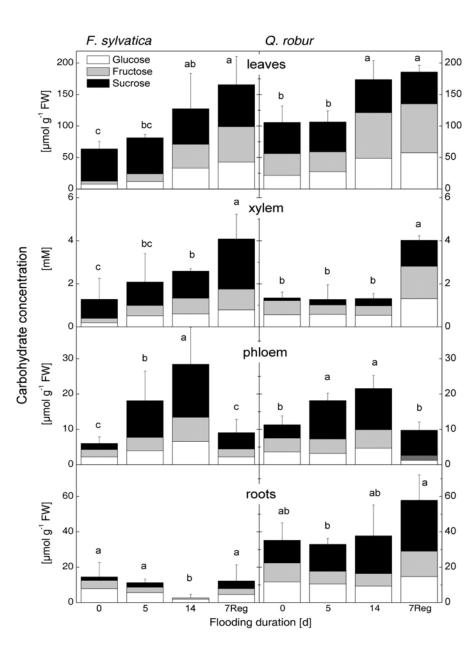
Menzel et al., 2015

La quasi totalité des hêtres de hauteur inférieure à 4 m avaient gelé et tous ceux de hauteur supérieure à 7 m étaient indemnes. Le dégât de gel le plus intense a eu pour conséquence une augmentation significative du risque de fourchaison

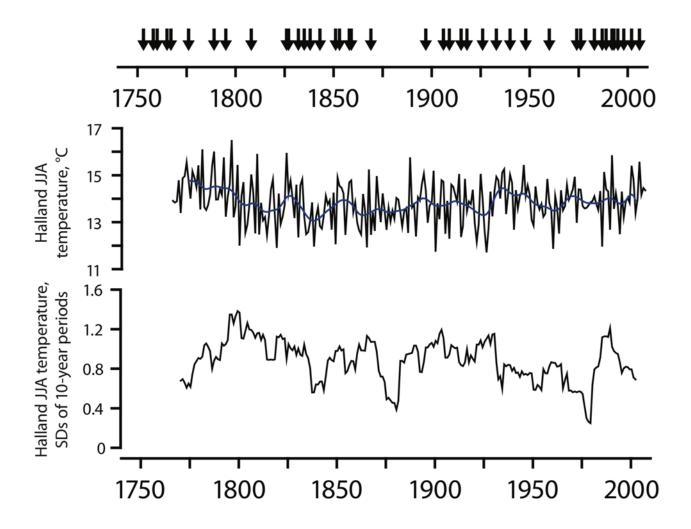
Annual height growth increment in cm





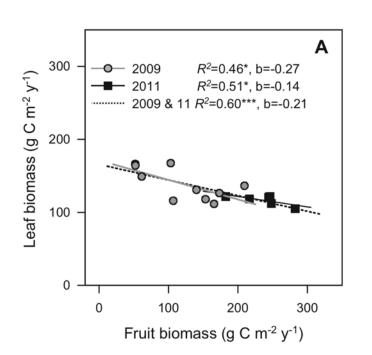


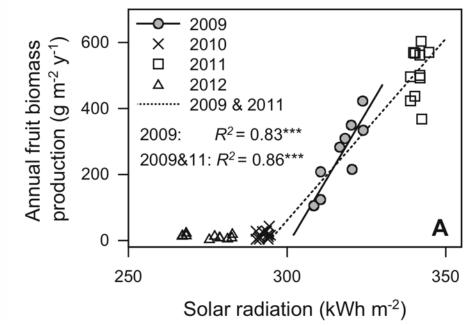
#### Une reproduction avec du masting

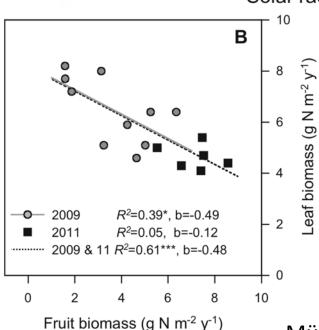


Le rayonnement solaire total en juin et juillet de l'année précédant le masting est le paramètre climatique le mieux corrélé au masting

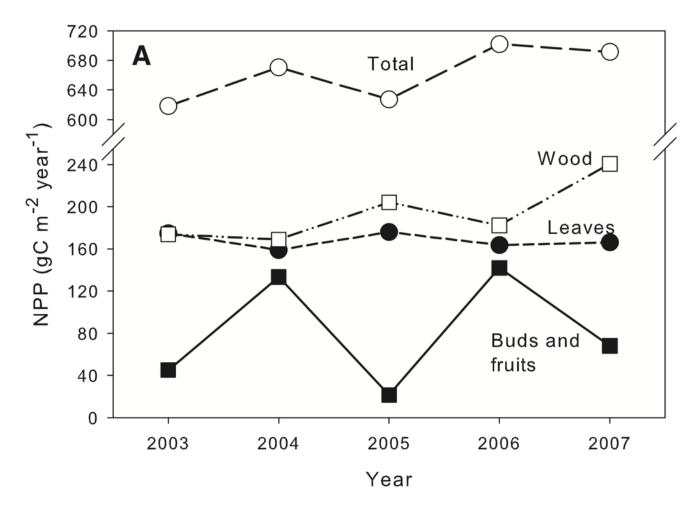
L'allocation à la reproduction diminue la surface foliaire et l'azote foliaire



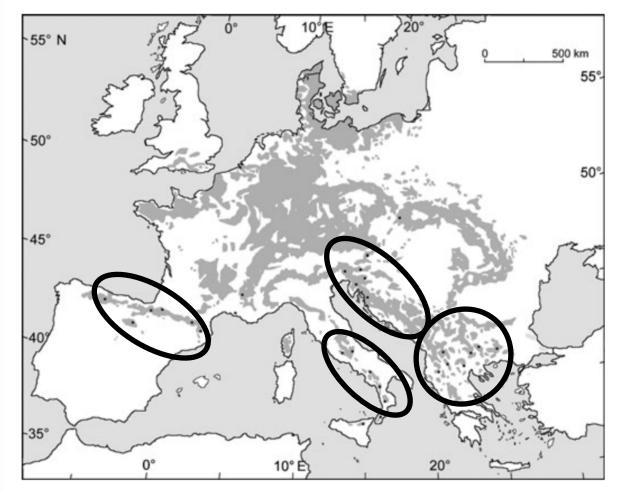




Müller-Haubold et al., 2015

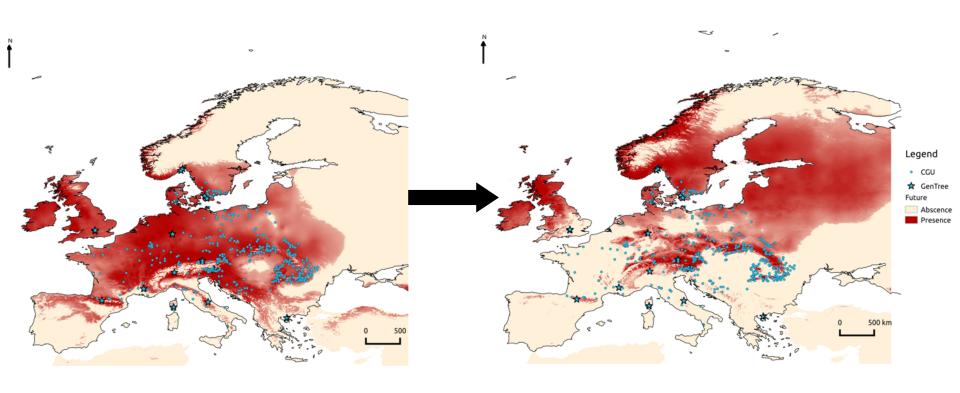


Découplage NPP, croissance radiale à cause du masting... Croissance du bois peu limité par la NPP....

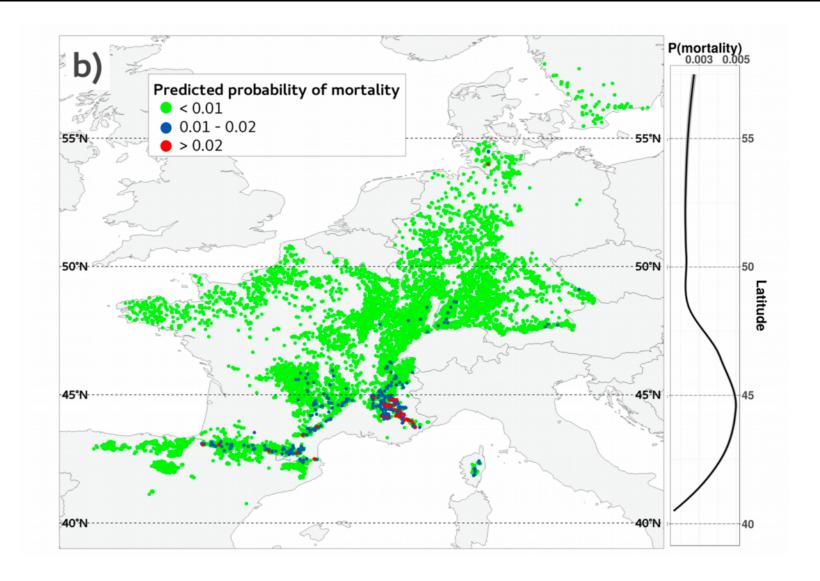


reconstruction quantitative des zones de refuge pour Fagus sylvatica 15 000 bp.

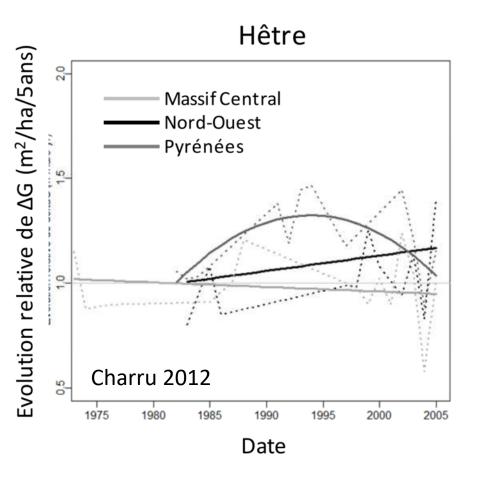
# Modèles de niche prédisent une disparition du Hêtre



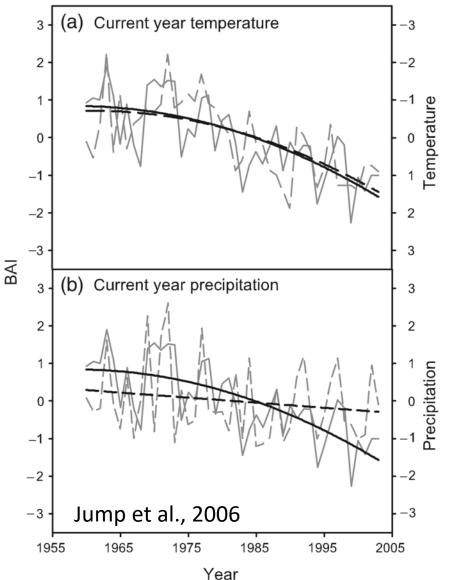
Fagus sylvatica current and future distribution, map data from Schueler et al. GCB 2014

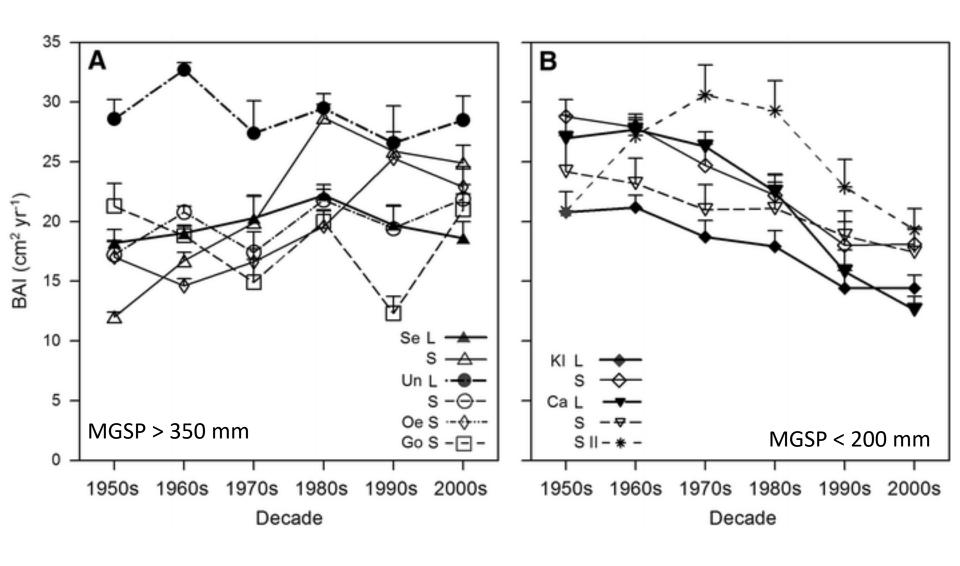


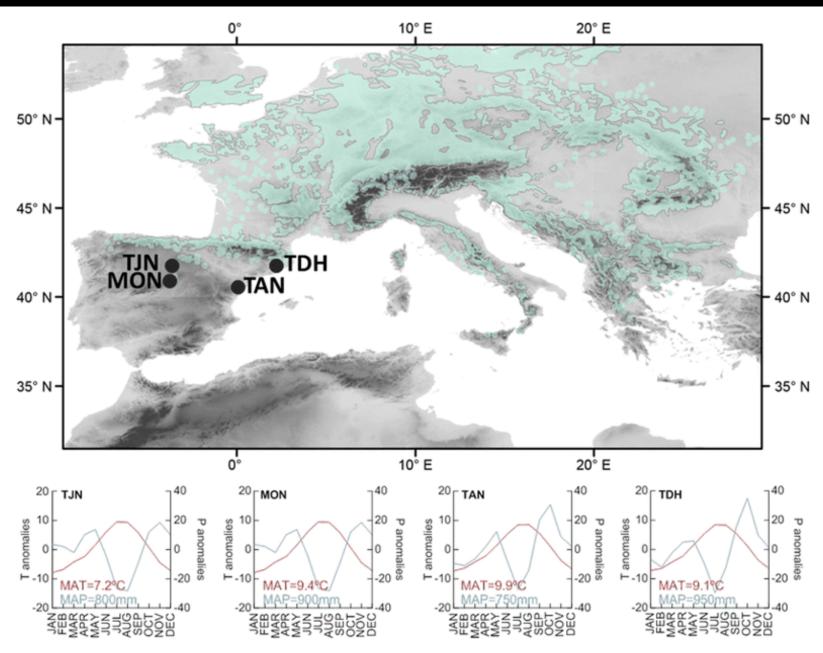
#### Une croissance en baisse dans les Pyrénées



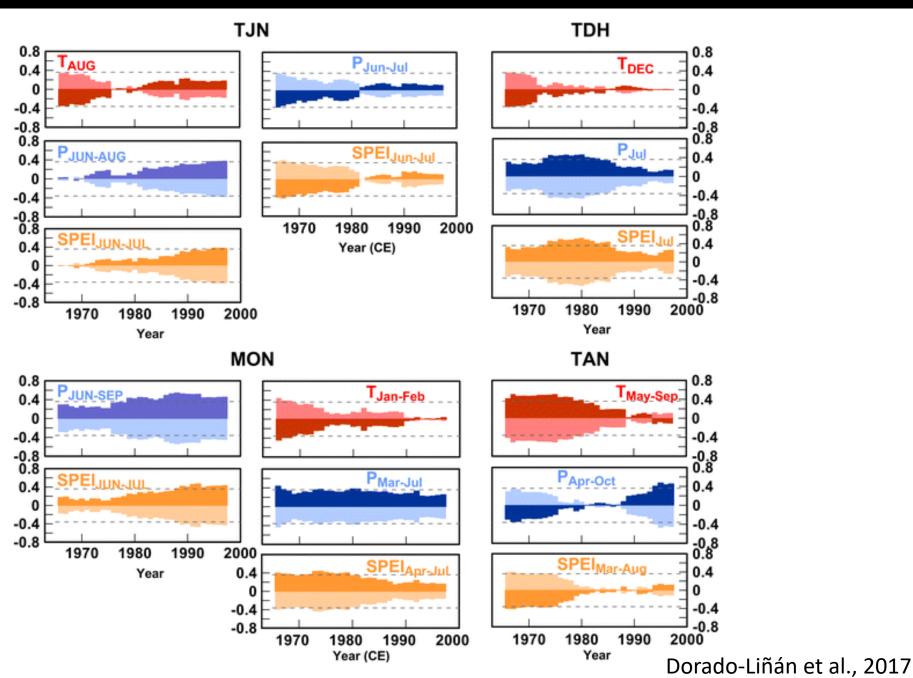
# Une croissance en baisse en Espagne





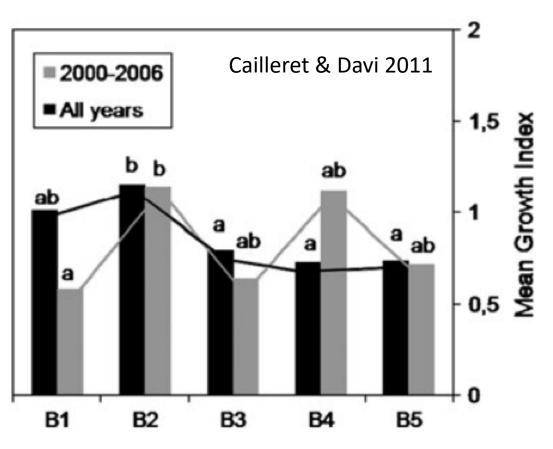


Dorado-Liñán et al., 2017

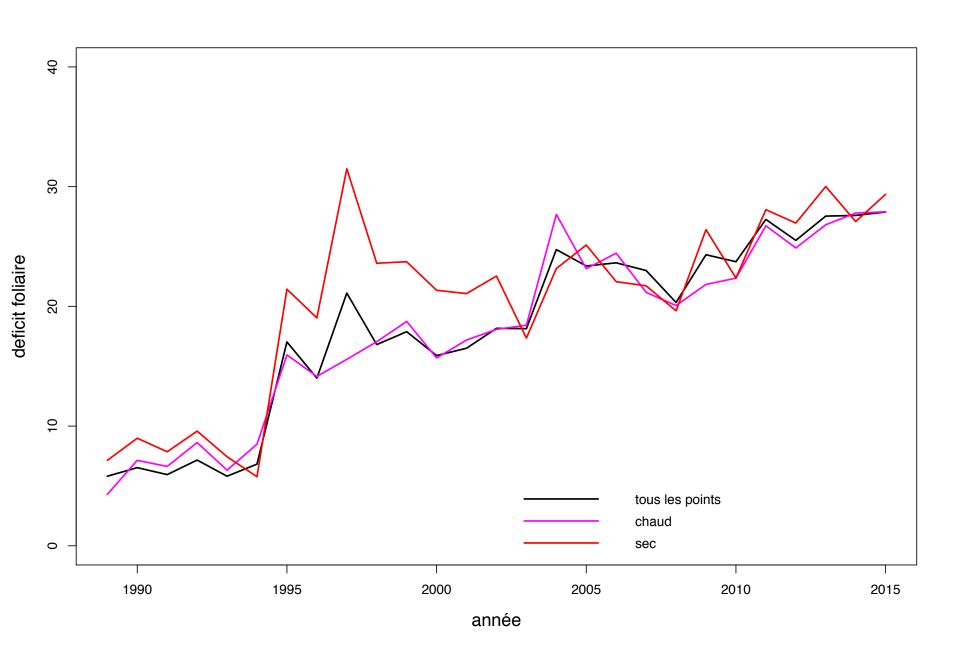




Une remontée des optimums de croissance au Ventoux

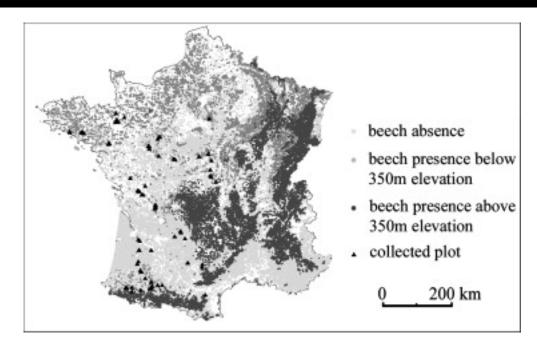


Effet positif des précipitations de Mars de l'année N => printemps humide Effet négatif des Tmax d'Avril de l'année N => printemps pas trop chaud (risque de gelée tardive) Effet négatif des Tmean d'Avril de l'année N-1

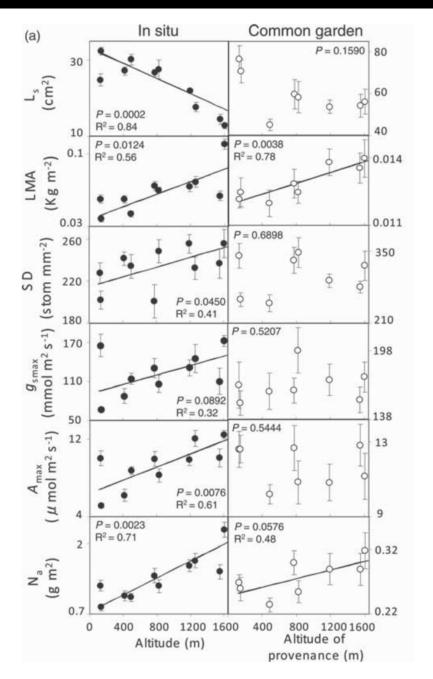


Les méso-, micro- et pédo-climats sont les principaux facteurs contrôlant la quantité de semis.

L'humidité, les précipitations et la température plus élevées du sol pendant la saison de croissance augmentent la densité des semis, tandis que les gelées tardives du printemps et du début de l'automne la réduise.



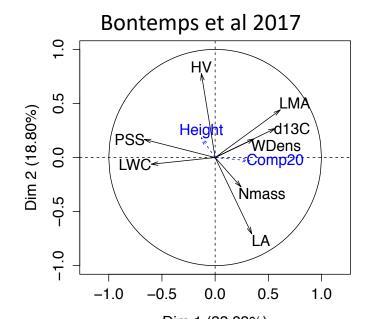
- Les conditions du sol et du peuplement jouent également un rôle important.
- La production de fruits augmente dans les peuplements présentant de la défoliation, tandis que la quantité de plantules diminue
- L'établissement des plantules est lié aux facteurs contrôlant la présence de F. sylvatica à ses marges de distribution méridionales.



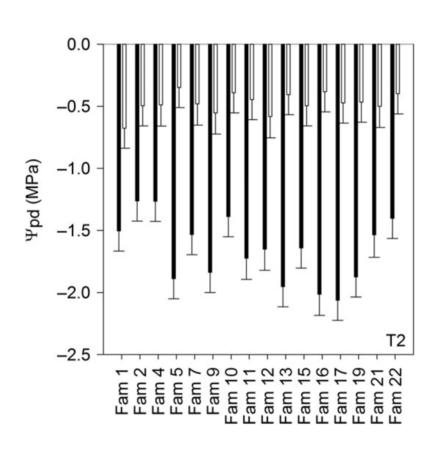
- Plasticité le long de gradients altitudinaux
- Réduction de la taille avec l'altitude

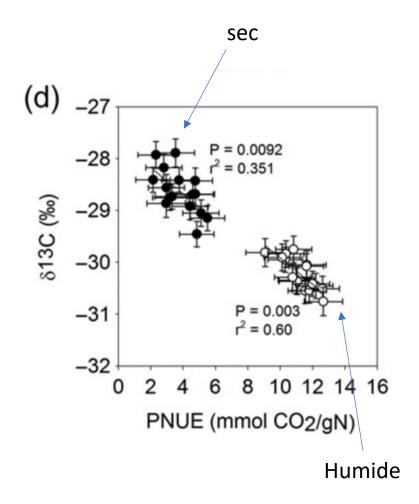
Bresson et al., 2011

- 1. Structure de la variation phénotypique intrapopulation
- 2. Mise en évidence de gradients de sélection
- 3. Héritabilité des caractères



		<u>Nim 1 (22 83%)</u>	
	Bontemps	Gaüzere	Alberto
Type de dispositif	In situ	Jardin commun	Jardin commun
Type de matériel	Adultes	Semis	
Débourrement	0.65	0.14	0.25
Date de Senescence		0.20	0.11
d13C	0.28	0.26	0.08
Azote	0.40	0.30	0.04
Masse Surfacique	-0.09	0.26	0.02
Surface des feuilles	0.38	0.21	
Masse des feuilles	0.26	0.26	
Biomasse du plant		0.14	
δHauteur		0.35	0.32
δDiamètre		0.16	0.28





Aranda et al., 2016

Aux marges chaudes les Hêtres débourrent plus tard

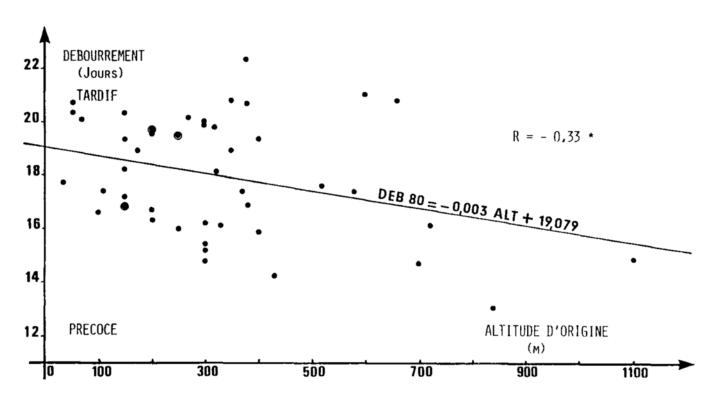
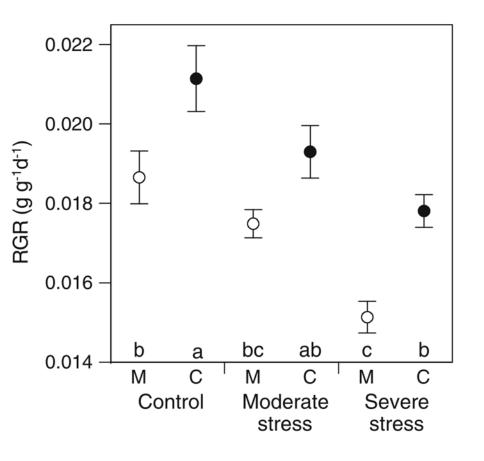
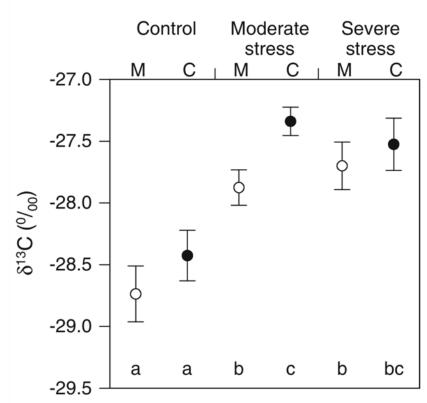


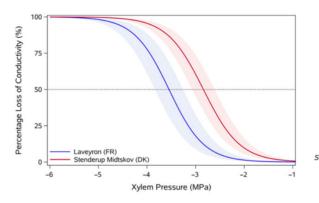
Fig. 6

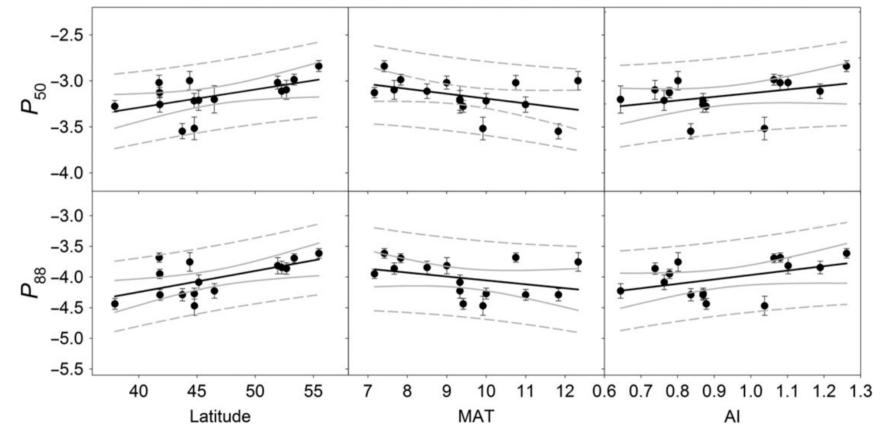
- taux de croissance de la provenance marginale sont inférieurs
- Moindre photosynthèse ou moindre régulation stomatique



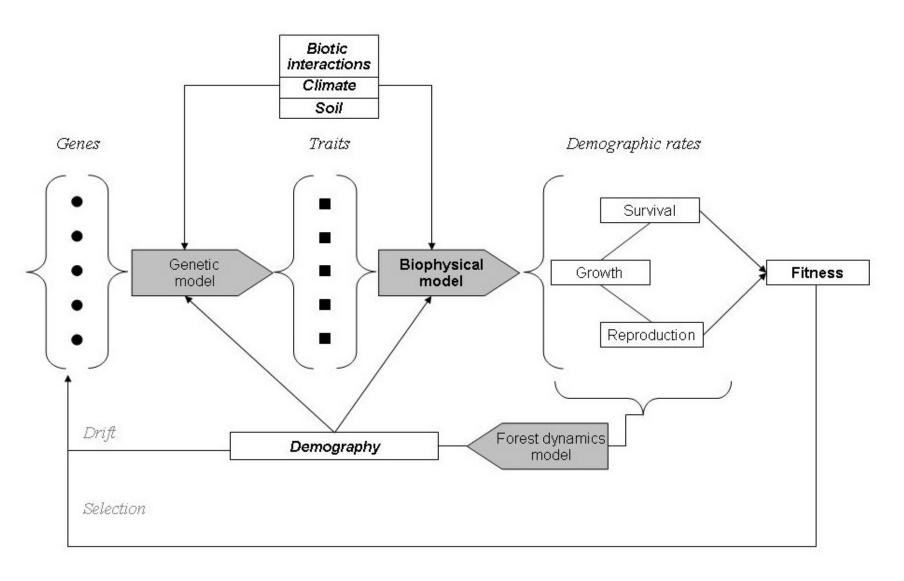


Faible différence de P50 entre provenance mais il existe un cline significatif





Stojnić et al., 2018



#### **Différents scénarios**

A: sans évolution h<sup>2</sup>=0

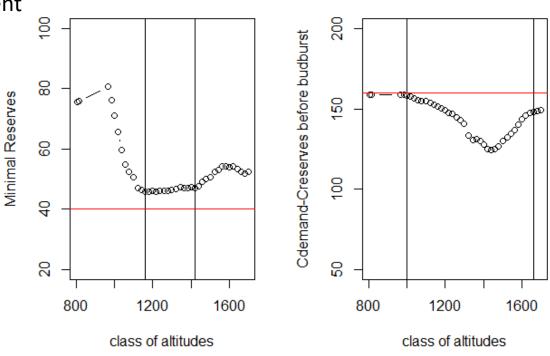
B: avec évolution

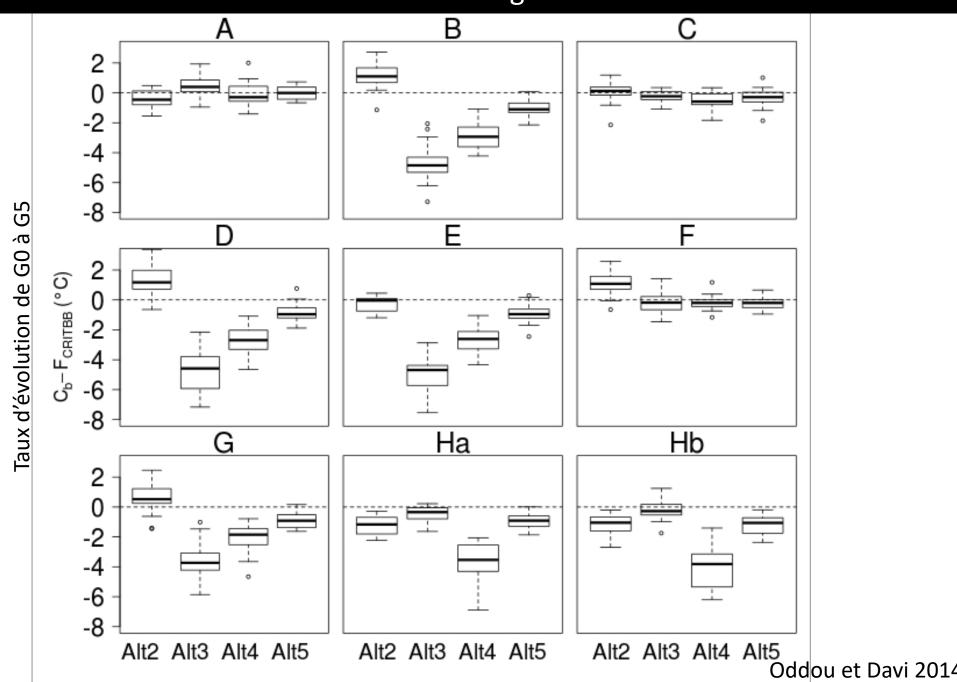
C: mortalité identique

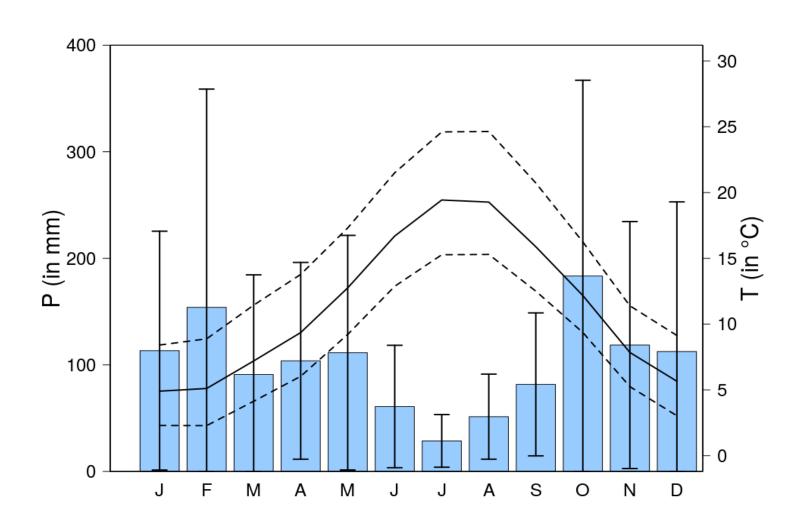
D: reproduction identique

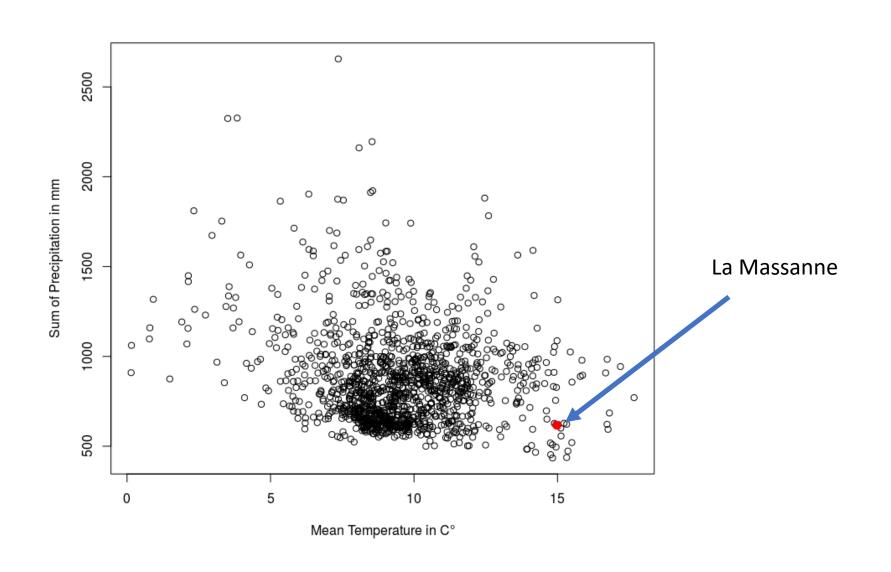
E: mortalité réserve hiver

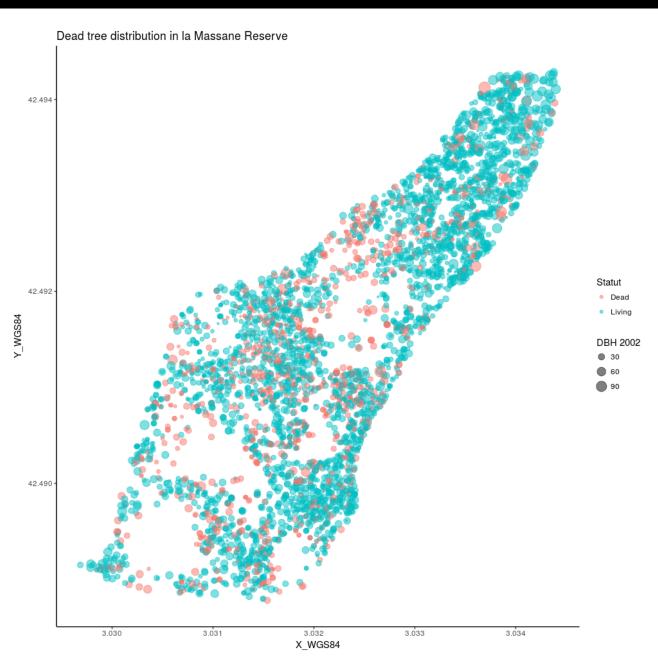
F: mortalité réserve débourrement

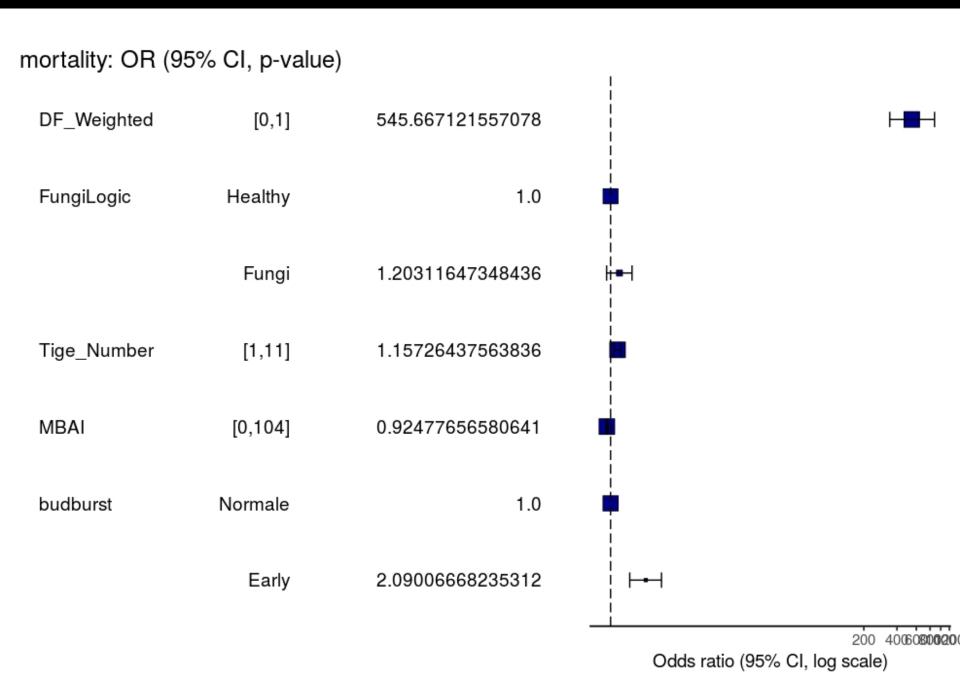


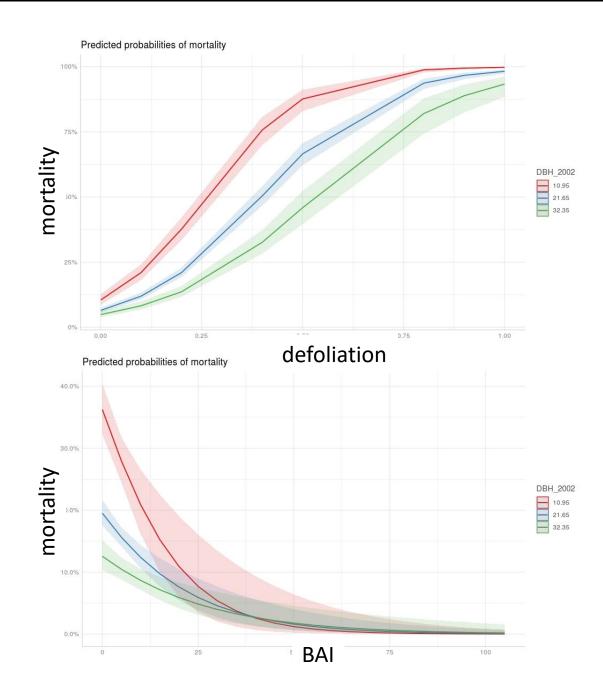


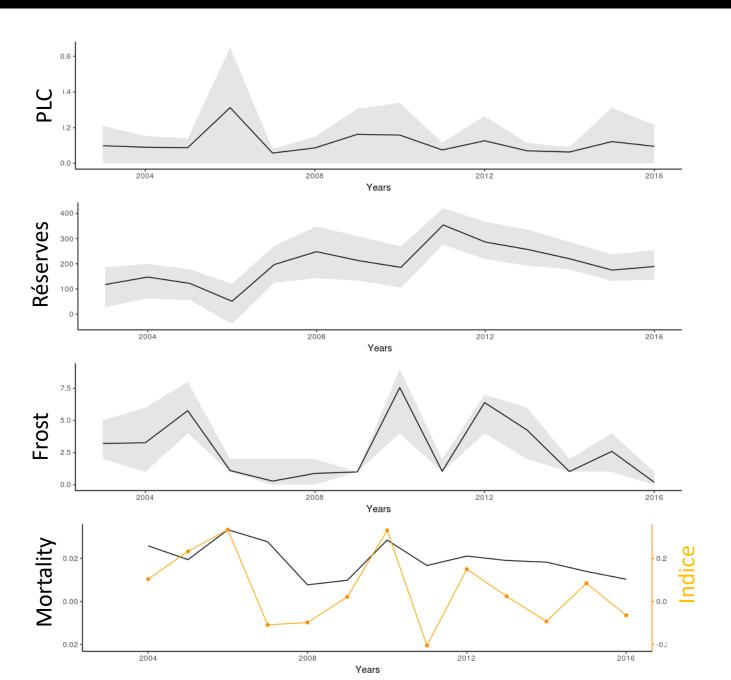












#### Conclusion

- Hêtre absent des marges chaudes et présente des baisses de croissance
- Hêtre pas si mal-adapté à la sécheresse
- Sensibilité diffère de vulnérabilité, sensibilité permet la résilience
- Phénologie sensible à la photopériode et aux besoins en froid
- Sensibilité à l'engorgement
- Impact de la cavitation (sécheresse extrême) et des gelées tardives
- Importance de la limitation en régénération
- Existe des ressources génétiques intéressantes



Aranda, I., Bahamonde, H.A., Sánchez-Gómez, D., n.d. Intra-population variability in the drought response of a beech (Fagus sylvatica L.) population in the southwest of Europe. Tree Physiol 1–12. <a href="https://doi.org/10.1093/treephys/tpx058">https://doi.org/10.1093/treephys/tpx058</a>

Barigah, T.S., Charrier, O., Douris, M., Bonhomme, M., Herbette, S., Améglio, T., Fichot, R., Brignolas, F., Cochard, H., 2013. Water stress-induced xylem hydraulic failure is a causal factor of tree mortality in beech and poplar. Ann Bot 112, 1431–1437. https://doi.org/10.1093/aob/mct204

Bresson, C.C., Vitasse, Y., Kremer, A., Delzon, S., 2011. To what extent is altitudinal variation of functional traits driven by genetic adaptation in European oak and beech? Tree Physiol tpr084. https://doi.org/10.1093/treephys/tpr084

Charru, M., Seynave, I., Hervé, J.-C., Bertrand, R., Bontemps, J.-D., 2017. Recent growth changes in Western European forests are driven by climate warming and structured across tree species climatic habitats. Annals of Forest Science 74. https://doi.org/10.1007/s13595-017-0626-1

Dittmar, C., Zech, W., Elling, W., 2003. Growth variations of Common beech (Fagus sylvatica L.) under different climatic and environmental conditions in Europe—a dendroecological study. Forest Ecology and Management 173, 63–78. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00816-7

Dorado-Liñán, I., Akhmetzyanov, L., Menzel, A., 2017. Climate threats on growth of rear-edge European beech peripheral populations in Spain. International Journal of Biometeorology. https://doi.org/10.1007/s00484-017-1410-5

Drobyshev, I., Niklasson, M., Mazerolle, M.J., Bergeron, Y., 2014. Reconstruction of a 253-year long mast record of European beech reveals its association with large scale temperature variability and no long-term trend in mast frequencies. Agricultural and Forest Meteorology 192–193, 9–17. <a href="https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.02.010">https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.02.010</a>

Granier, A., Bréda, N., Longdoz, B., Gross, P., Ngao, J., 2008. Ten years of fluxes and stand growth in a young beech forest at Hesse, North-eastern France. Annals of Forest Science 65, 704–704. https://doi.org/10.1051/forest:2008052

Hesse, B.D., Goisser, M., Hartmann, H., Grams, T.E.E., n.d. Repeated summer drought delays sugar export from the leaf and impairs phloem transport in mature beech. Tree Physiol. https://doi.org/10.1093/treephys/tpy122

Ferner, E., Rennenberg, H., Kreuzwieser, J., 2012. Effect of flooding on C metabolism of flood-tolerant (Quercus robur) and non-tolerant (Fagus sylvatica) tree species. Tree Physiol 32, 135–145. <a href="https://doi.org/10.1093/treephys/tps0">https://doi.org/10.1093/treephys/tps0</a>

Fotelli, M.N., Geßler, A., Peuke, A.D., Rennenberg, H., 2001. Drought affects the competitive interactions between Fagus sylvatica seedlings and an early successional species, Rubus fruticosus: responses of growth, water status and  $\delta$ 13C composition. New Phytologist 151, 427–435. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00186.x

Geßler, A., Keitel, C., Kreuzwieser, J., Matyssek, R., Seiler, W., Rennenberg, H., 2007. Potential risks for European beech (Fagus sylvatica L.) in a changing climate. Trees 21, 1–11. <a href="https://doi.org/10.1007/s00468-006-0107-x">https://doi.org/10.1007/s00468-006-0107-x</a>

Jump, A.S., Hunt, J.M., Peñuelas, J., 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of Fagus sylvatica. Global Change Biology 12, 2163–2174. <a href="https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x">https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x</a>

Knutzen, F., Dulamsuren, C., Meier, I.C., Leuschner, C., 2017. Recent Climate Warming-Related Growth Decline Impairs European Beech in the Center of Its Distribution Range. Ecosystems. <a href="https://doi.org/10.1007/s10021-017-0128-x">https://doi.org/10.1007/s10021-017-0128-x</a>

Latte, N., Lebourgeois, F., Claessens, H., 2015. Growth partitioning within beech trees (Fagus sylvatica L.) varies in response to summer heat waves and related droughts. Trees 1–13. <a href="https://doi.org/10.1007/s00468-015-1288-y">https://doi.org/10.1007/s00468-015-1288-y</a>

Mainiero, R., Kazda, M., 2006. Depth-related fine root dynamics of Fagus sylvatica during exceptional drought. Forest Ecology and Management 237, 135–142. <a href="https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.034">https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.034</a>

Marshall, J.D., 1986. Drought and shade interact to cause fine-root mortality in Douglas-fir seedlings. Plant Soil 91, 51–60. https://doi.org/10.1007/BF02181818

Lebourgeois, F., Breda, N., Ulrich, E., Granier, A., n.d. Climate-tree-growth relationships of european beech (Fagus sylvatica L.) in the french permanent plot network (RENECOFOR). Trees 19, 385–401.

Magri, D., 2008. Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (Fagus sylvatica). Journal of Biogeography 35, 450–463. <a href="https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01803.x">https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01803.x</a>

Menzel, A., Helm, R., Zang, C., 2015. Patterns of late spring frost leaf damage and recovery in a European beech (Fagus sylvatica L.) stand in south-eastern Germany based on repeated digital photographs. Frontiers in Plant Science 6. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00110

Metz, J., Annighöfer, P., Schall, P., Zimmermann, J., Kahl, T., Schulze, E.-D., Ammer, C., 2015. Site adapted admixed tree species reduce drought susceptibility of mature European beech. Glob Change Biol n/a-n/a. <a href="https://doi.org/10.1111/gcb.13113">https://doi.org/10.1111/gcb.13113</a>

Müller-Haubold, H., Hertel, D., Leuschner, C., 2015. Climatic Drivers of Mast Fruiting in European Beech and Resulting C and N Allocation Shifts. Ecosystems 18, 1083–1100. <a href="https://doi.org/10.1007/s10021-015-9885-6">https://doi.org/10.1007/s10021-015-9885-6</a>

Mund, M., Kutsch, W.L., Wirth, C., Kahl, T., Knohl, A., Skomarkova, M.V., Schulze, E.-D., 2010. The influence of climate and fructification on the inter-annual variability of stem growth and net primary productivity in an old-growth, mixed beech forestMUND ET AL. Tree Physiol 30, 689–704. <a href="https://doi.org/10.1093/treephys/tpq027">https://doi.org/10.1093/treephys/tpq027</a>

Ningre, F., Colin, F., 2007. Frost damage on the terminal shoot as a risk factor of fork incidence on common beech (Fagus sylvatica L.). Ann. For. Sci. 64, 79–86. <a href="https://doi.org/10.1051/forest:2006091">https://doi.org/10.1051/forest:2006091</a>

Rose, L., Leuschner, C., Köckemann, B., Buschmann, H., 2009. Are marginal beech (Fagus sylvatica L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? Eur J Forest Res 128, 335–343. https://doi.org/10.1007/s10342-009-0268-4

Stojnić, S., Suchocka, M., Benito-Garzón, M., Torres-Ruiz, J.M., Cochard, H., Bolte, A., Cocozza, C., Cvjetković, B., de Luis, M., Martinez-Vilalta, J., Ræbild, A., Tognetti, R., Delzon, S., n.d. Variation in xylem vulnerability to embolism in European beech from geographically marginal populations. Tree Physiol 1–13. <a href="https://doi.org/10.1093/treephys/tpx128">https://doi.org/10.1093/treephys/tpx128</a>

Teissier Du Cros, E., Thiebaut, B., Duval, H., 1988. Variability in beech: budding, height growth and tree form. Annales des Sciences Forestières 45, 383–398. <a href="https://doi.org/10.1051/forest:19880406">https://doi.org/10.1051/forest:19880406</a>

Tomasella, M., Nardini, A., Hesse, B.D., Machlet, A., Matyssek, R., Häberle, K.-H., n.d. Close to the edge: effects of repeated severe drought on stem hydraulics and non-structural carbohydrates in European beech saplings. Tree Physiol. https://doi.org/10.1093/treephys/tpy142