



2023 POMME PROJET DENVER REDUCTION IRRIGATION



Isabelle GENIVET, Fanny CALMELS - Verger de Poisy

I BUT DE L'ESSAI

Une conséquence importante du changement climatique est la diminution des ressources en eau. On observe un accroissement de la demande des cultures en irrigation. L'agriculture et notamment l'arboriculture fruitière est logiquement consommatrice de cette ressource. La question que l'on peut se poser est : quelle quantité d'eau peut-on diminuer tout en maintenant un verger viable qualitativement et économiquement. Des outils sont à la disposition des techniciens et agriculteurs permettant essentiellement d'observer l'état hydrique du sol et non celui de la plante. Cependant, ils sont pour certains peu adaptés et trop généralistes. Certaines innovations méritent d'être étudiées afin de se les approprier pour maîtriser la gestion de l'irrigation.

Les objectifs de ce projet sont de :

- Tester un nouveau matériel en arboriculture fruitière : le dendromètre
- Appréhender ses données
- Piloter l'irrigation grâce à ce matériel, pour diminuer et optimiser les quantités d'eau apportées

II MATERIEL ET METHODES

Lieu de l'essai : Verger Expérimental de Poisy

Variété : Idared

Année de 1ère feuille : 2017, plantation sur terrain neuf

Dispositif : 1 ligne par modalité

Distance de plantation : 4.5m X 1.2m (1851 arbres/ha)

Irrigation par aspersion sous frondaison avec des micro-jets

Gestion des apports se fait avec des compteurs

Dispositif mis en place :

B = dendromètre

W = sonde watermark à 30 et 60 cm de profondeur

L1 : réduction de l'irrigation L2 : irrigation normale



Les dendromètres sont installés sur une branche dans le 1/3 supérieur de l'arbre (diamètre de la branche entre 10 et 12 mm)



Dendromètre en place Photo VEP



Boîtier de transmission Photo VEP

Mesures effectuées par l'intermédiaire du dendromètre :

- **LVDT** (Linear Variable Differential Transformer) : variation du diamètre de la branche sur laquelle est installé l'appareil. Cela permet d'observer toutes les réactions physiologiques de l'arbre liées à l'état hydrique des cellules du végétal et à la climatologie extérieure. En effet les variations de LVDT sont fonction de divers paramètres :
 - o Croissance réelle (fabrication de cellule)
 - o Etat hydrique (réhydratation possible des cellules sans croissance) : mobilisation des réserves hydriques
 - o Dilatation thermique (pas de transpiration) : état physiologique global par rapport à la phénologie.

Ce que l'on observe avec les dendromètres (source : INRAE Clermont UMR PIAF) :

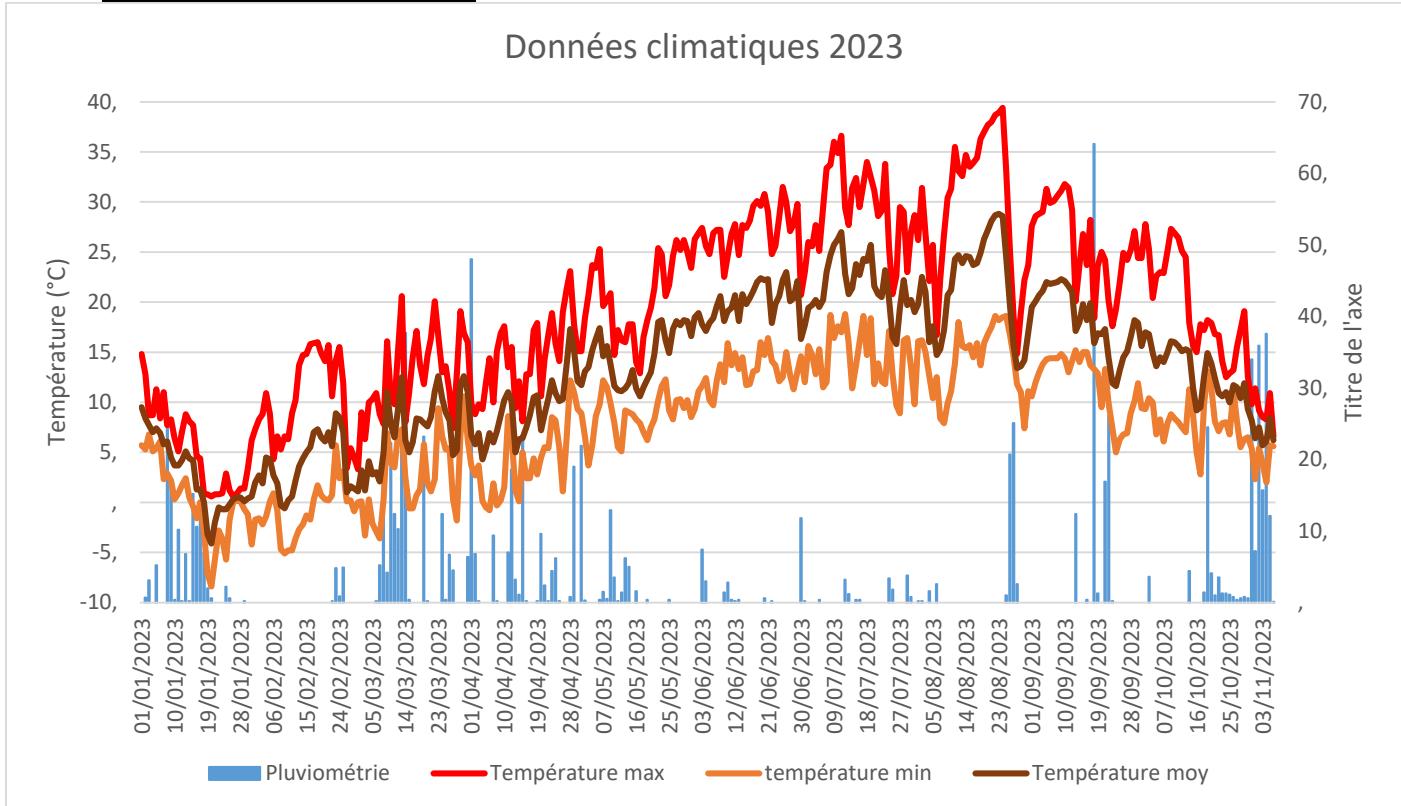
Pour assurer son activité photosynthétique, une plante absorbe l'eau par les racines et la transpire par les feuilles. Le jour, sous l'influence de l'énergie solaire, lorsque l'absorption d'eau ne compense pas totalement la transpiration, la plante puise dans ses réserves et le diamètre de ses organes diminue. Cette diminution est la conséquence de la contribution des réserves en eau des cellules à cette transpiration. La nuit, en l'absence de transpiration, la réhydratation de la plante permet une récupération du diamètre initial des organes, lorsque les conditions climatiques sont favorables à la photosynthèse et à la croissance secondaire.

Variables observées

- **Mesures par l'intermédiaire du boitier de transmission :**
 - o Diamètre des branches : LVDT
 - o Croissance journalière : représente l'activité de photosynthèse
 - o Amplitude Maximale de Contraction (AMC) : représente le niveau de contrainte hydrique
 - o Température
 - o Rayonnement solaire
- **Sonde Watermark :**
 - o Pression de l'eau dans le sol (centibars)
- **Mesures agronomiques**
 - o Diamètre des troncs
 - o Croissance des fruits (mesure hebdomadaire des calibres)
 - o Rendement et répartition des calibres

III RESULTATS ET DISCUSSION

- Données climatiques



Pluviométrie : écart par rapport à la normale (1990-2020)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel	Mars-oct
2023	-14,7%	1,9%	64,4%	22,1%	-65,3%	-35,6%	-68,3%	-70,6%	15,9%	86,3%	144,1%	45,6%	11,5%	-7,1%
2022	-70,2%	0,0%	-60,2%	-40,8%	-62,2%	0,8%	-96,4%	-35,1%	70,9%	-37,3%	25,4%	31,6%	-21,8%	-32,0%
2021	39,3%	-23,6%	-11,6%	-44,3%	91,1%	30,3%	55,8%	-53,3%	-30,3%	-1,3%	-60,2%	37,8%	3,0%	5,0%

Température moyenne : écart par rapport à la normale (1990-2020)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2023	0,60	0,60	0,20	-1,50	-0,20	1,40	1,10	1,40	2,30	1,20	-0,47	0,81
2022	-1,62	0,84	0,24	-0,84	2,27	2,15	2,71	2,05	-0,98	2,05	0,50	1,02
2021	-1,39	2,07	-0,69	-1,74	-2,83	1,47	-1,08	-1,77	0,47	-2,31	-2,17	-1,20

Au niveau température, on constate un hiver doux en janvier et février puis dans les normes de mars à mai. Quelques jours de gel sont présents fin mars et début avril alors que les arbres ont déjà débourré (entre -0,5 et -1,8°C). Par la suite, les températures deviennent fortement excédentaires avec 3 à 4° au-dessus des normales entre juin et octobre.

Trois périodes caniculaires ont eu lieu en 2023 : une première du 7 au 23 juillet avec des températures maximales oscillants entre 30 et 35,5°C. La deuxième du 9 au 25 août a été bien plus intense avec des températures maximales comprises entre 30 et 39,4°C. La troisième période de canicule allant du 2 au 11 septembre est un peu moins intense que les autres mais arrive de façon très tardive dans la saison.

Au total, on a dénombré 38 jours où les températures ont dépassé les 30°C (dont 10 jours dépassant les 35°C) contre 17 jours en moyenne pendant la période 1990-2020.

Côté pluviométrie, on note un excédent en mai et avril puis un déficit très important de mai à août (-40 à -70% par rapport à la normale). La pluviométrie très importante en octobre et novembre permet d'obtenir la pluviométrie annuelle de 1200 mm. Elle est cependant répartie de façon très irrégulière dans l'année et surtout peu présente au moment où les arbres en ont le plus besoin.

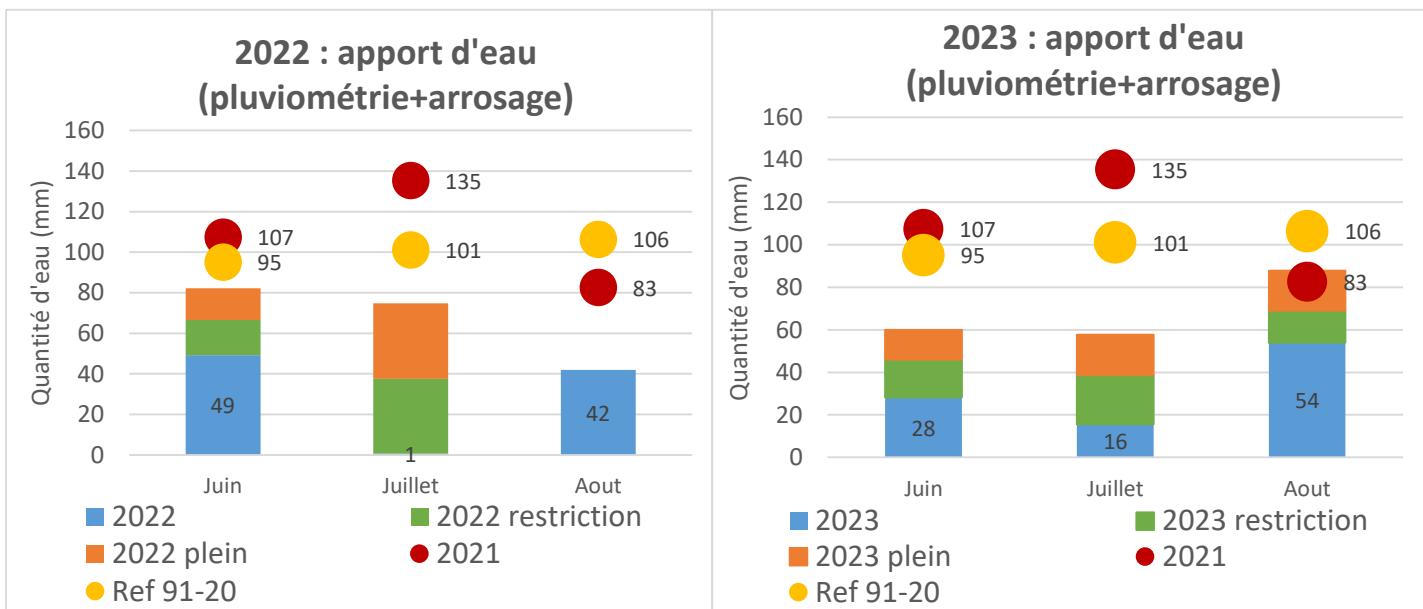
- Protocoles et apport d'eau

Il s'agit de réduire de moitié les quantités d'eau apportées sur la ligne « réduction ». Le nombre d'arrosage est identique pour les deux lignes.

L'arrosage se fait en journée pour la gestion du volume apporté.

Les irrigations ont été faites les mêmes jours pour les deux modalités afin de ne pas avoir de biais des conditions climatiques sur l'interprétation des résultats et des courbes. Le pilotage a été fait sur une moyenne des 6 dendromètres (en prenant en compte les arbres les plus contraints).

Volume d'eau apporté	20 juin	12 juillet	21 juillet	14 août	Total
Ligne 1	6.81 m ³ soit 17.81 mm	4.36 m ³ soit 11.39 mm	4.506 m ³ Soit 11.78 mm	5,98 m ³ soit 15mm	55.98 mm soit 4.6% de l'apport annuel
Ligne 2	12.17 soit 31.8 mm	7.38 m ³ soit 19.29 mm	8.75 m ³ soit 22.87 mm	12,92 m ³ soit 33.77 mm	107.74 mm soit 8.97% de l'apport annuel



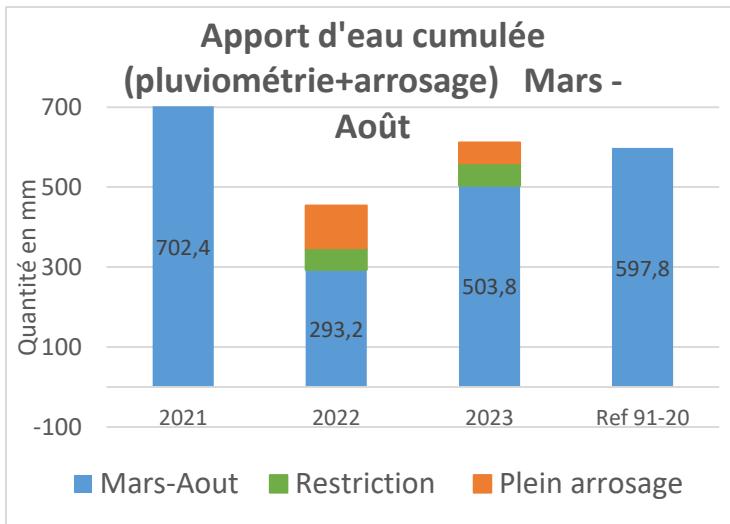
En 2023, 4 arrosages ont été réalisés entre le 20 juin et le 14 août. Cela représente 108 mm apportés sur la ligne sans restriction soit 10% des apports d'eau (pluviométrie + irrigation) annuel en 2023.

Sur les trois mois où ils ont été effectués, les arrosages sont loin de compenser les pertes de pluies par rapport à la normale de 1991-2020. On se retrouve pour la ligne sans restriction avec une baisse par rapport à la normale de 37 % en juin, 43 % en juillet et 17% en août. Pour la ligne avec restriction, ces mêmes baisses sont alors de 52% en juin, 62% en juillet et 35% en août.

Les cumuls mensuels de l'année 2021 sont indiqués dans les graphiques, étant l'année de mise en place des dendromètres et surtout une année référence qui n'a nécessité aucun arrosage. La moyenne des normales 91-20 est aussi notifiée.

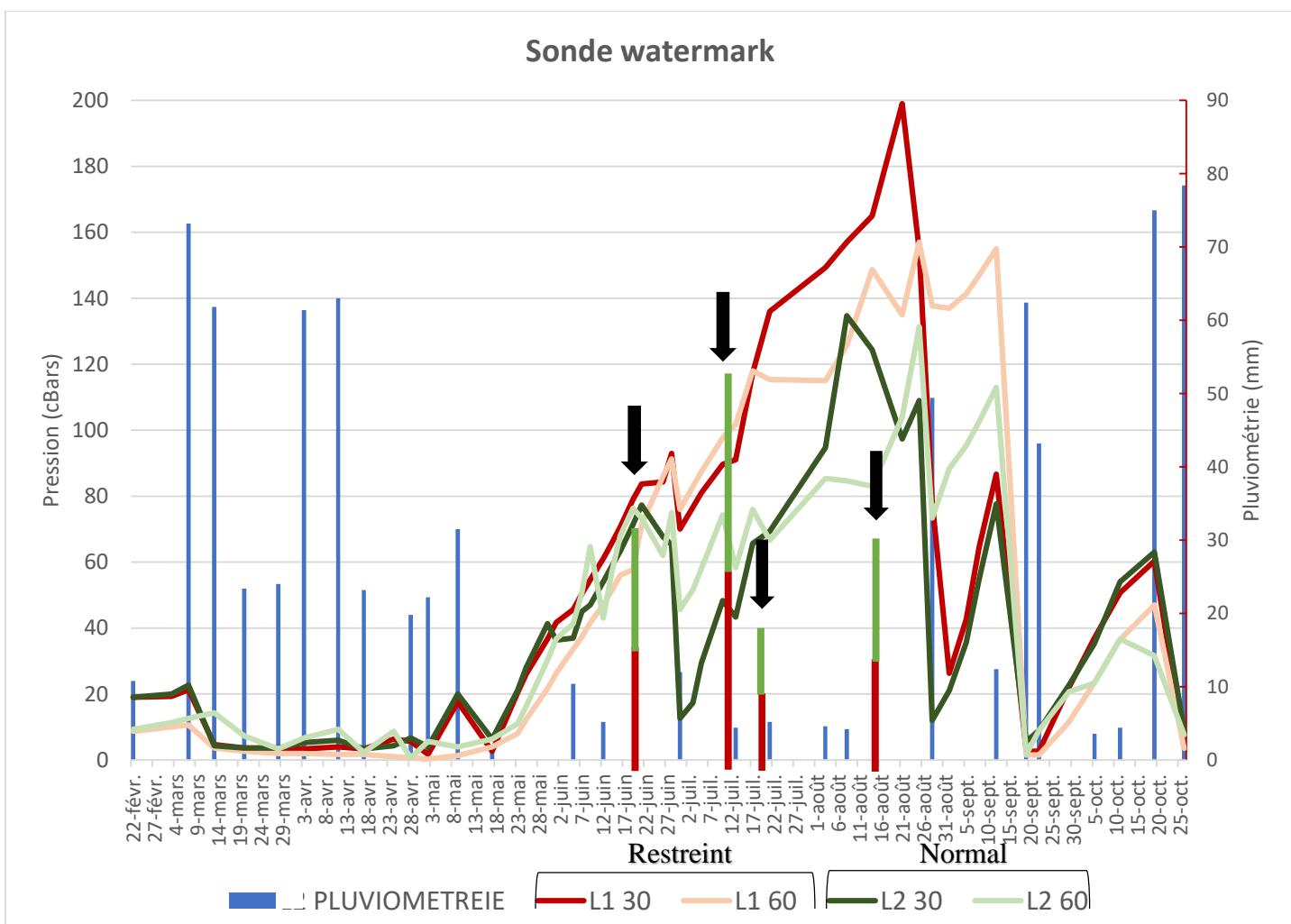
En 2022, la répartition des déficits est différente par rapport à 2023 sur les 3 mois d'arrosage. Cette année, là les déficits par rapport à la normale 1991-2020 étaient de :

- Sur la ligne sans restriction : 13.6% en juin, 26% en juillet et 60% en août.
- Sur la ligne avec restriction : 38% en juin, 63% en juillet et 60% en août



En cumulée, sur toute la période du développement végétatif du pommier, on constate que les irrigations de 2023 ont permis de combler les déficits de pluviométrie puisque l'on se retrouve au niveau des normales de saison 1991-2020 avec l'irrigation pleine. Ceci n'était pas le cas en 2022 où l'on se retrouve avec une perte sur la période mars-août de 33% pour la partie sans restriction et 42% pour la modalité avec restriction par rapport à la référence 1991-2020.

- Sonde Watermark : potentiel hydrique du sol



→ Irrigation

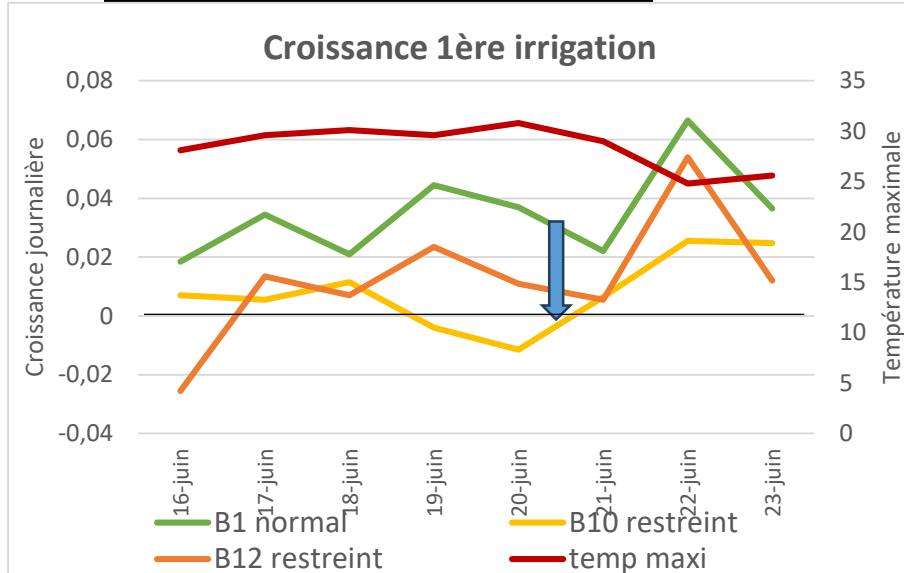
█ quantité apportée par irrigation

Les tensiomètres sont restés très bas (<20 cB) jusqu'au 20 mai, les pluies régulières et importantes depuis le mois de mars ayant maintenu le sol humide. A partir de là, ils ne cessent de monter jusqu'à fin août. Les diverses irrigations limitent l'assèchement du sol mais ne le ré humidifient pas à 60cm. A 30 cm :

- Les irrigations pleines permettent de réhumidifier le sol. Ainsi les zones à 30 cm n'excèdent pas les 90 cB jusqu'à mi-août et atteignent un maximum de 135 cB vers le 20 août. Ce sont

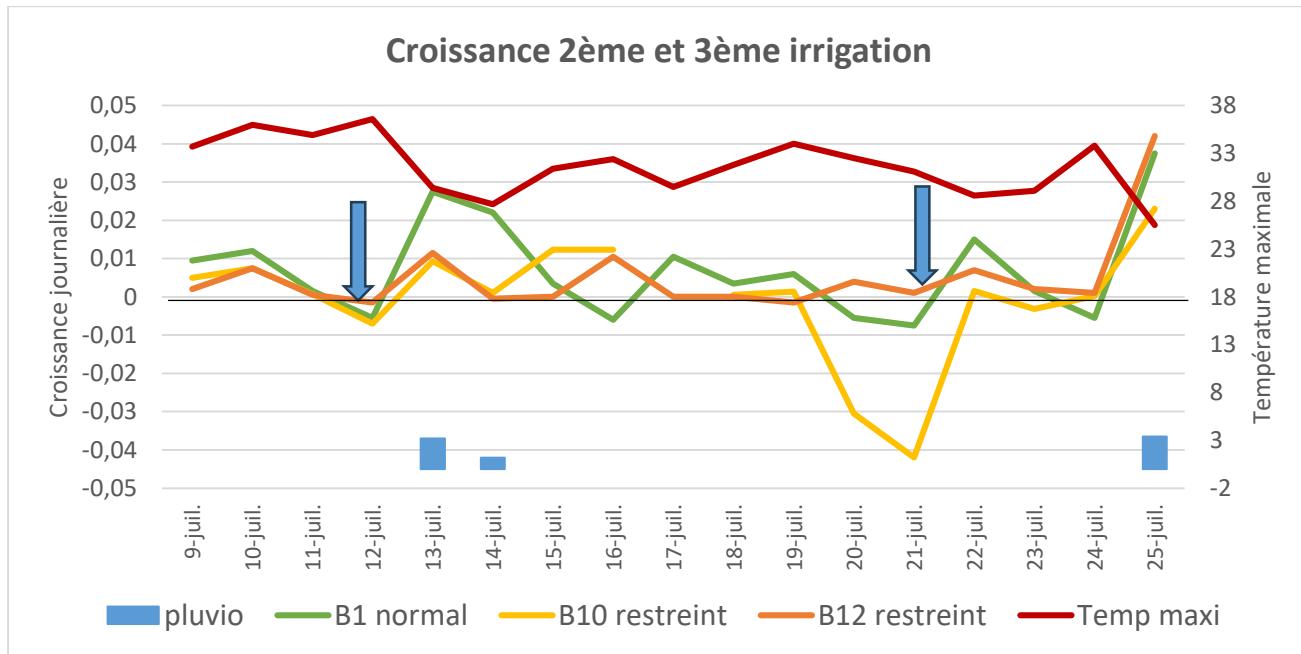
- les pluies de début septembre qui permettent de faire redescendre les tensiomètres sous les 20 cB.
- Les irrigations restreintes (réduction de 50% des quantités apportées à chaque arrosage) limitent seulement l'assèchement pendant quelques jours mais ne réhumidifient pas le sol. On dépasse les 100 cB dès mi-juillet. Le maximum mesurable avec les tensiomètres (200 cB) est atteint vers le 20 août. Comme pour l'autre modalité, ce sont les pluies de début septembre qui permettent de retrouver des niveaux inférieurs à 20 cB.

Croissance lors des irrigations



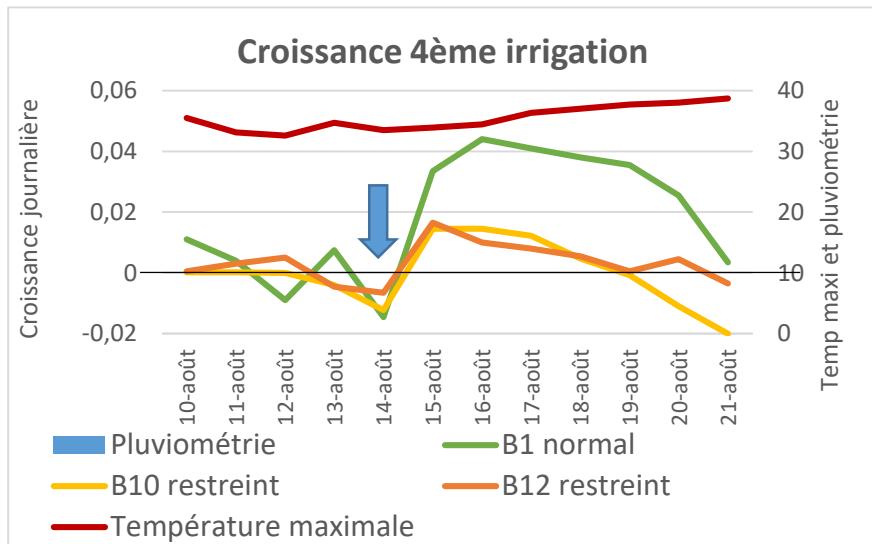
Croissance Journalière (LVDT à 00h J+1 - LVDT à 00h J) pour les dendromètres B1 (courbe verte) en irrigation normale, B10 (courbe jaune) et B12 (courbe orange) en irrigations restreintes (-50% en quantité à chaque apport) pendant les jours précédents et suivant la 1^{ère} irrigation. La croissance journalière représente l'activité photosynthétique de l'arbre. La courbe rouge représente la température maximale journalière à cette période et la flèche le jour de l'irrigation.

Lors de la première irrigation, le dendromètre B1 normal était en croissance et en confort hydrique. Le dendromètre B12 de la modalité restreinte est en croissance ralenti et en début de rationnement, et le B10 entame une décroissance et est en début de stress hydrique. On note que l'irrigation permet une croissance lors des 3 jours suivants et donc une reprise ou un accroissement de l'activité photosynthétique. On constate un pic de croissance pour les 3 dendromètres le 21 juin puis elle se stabilise ou ralentit.



Croissance Journalière (LVDT à 00h J+1 - LVDT à 00h J) pour les dendromètres B1 (courbe verte) en irrigation normale, B10 (courbe jaune) et B12 (courbe orange) en irrigations restreintes (-50% en quantité à chaque apport) pendant les jours précédents et suivant les 2^{èmes} et 3^{èmes} irrigations. La croissance journalière représente l'activité photosynthétique de l'arbre. La courbe rouge représente la température maximale journalière à cette période, les flèches le jour de l'irrigation et es histogrammes les pluviométries.

La deuxième irrigation est réalisée lors de la première période caniculaire en juillet avec des températures maximales dépassant les 33°C. Elle est associée le lendemain et surlendemain à de petites précipitations respectivement de 3.2 et 1.2mm. Les dendromètres B1 normal et B10 restreint sont en faible décroissance et en début de stress hydrique alors que le B12 restreint est en croissance nulle et en rationnement. On note l'effet positif de l'irrigation sur les trois dendromètres avec une reprise de croissance les jours suivant l'irrigation. Le bénéfice est plus important avec une croissance doublée pour l'irrigation pleine par rapport à l'irrigation restreinte. De plus cette croissance se maintient pendant les trois jours suivant l'irrigation alors qu'elle n'est visible que 1 jour pour les arbres restreints (B12 et B10). Par la suite, les croissances sont très faibles à nulles jusqu'au 19 juillet. Puis le B10 restreint entre en phase de stress hydrique avec une décroissance sur plusieurs jours. Les B12 restreint et B1 normale sont en rationnement ou début de stress. Les températures maximales sont toujours très élevées, situées entre 30 et 33°C, on est toujours en période caniculaire. La troisième irrigation est alors réalisée le 21 juillet, elle permet une reprise de croissance pour B1 normal plus importante que pour B12 restreint. Pour B10 l'effet est bénéfique aussi puisque sans permettre une reprise de croissance, l'irrigation permet tout de même de stopper la décroissance.

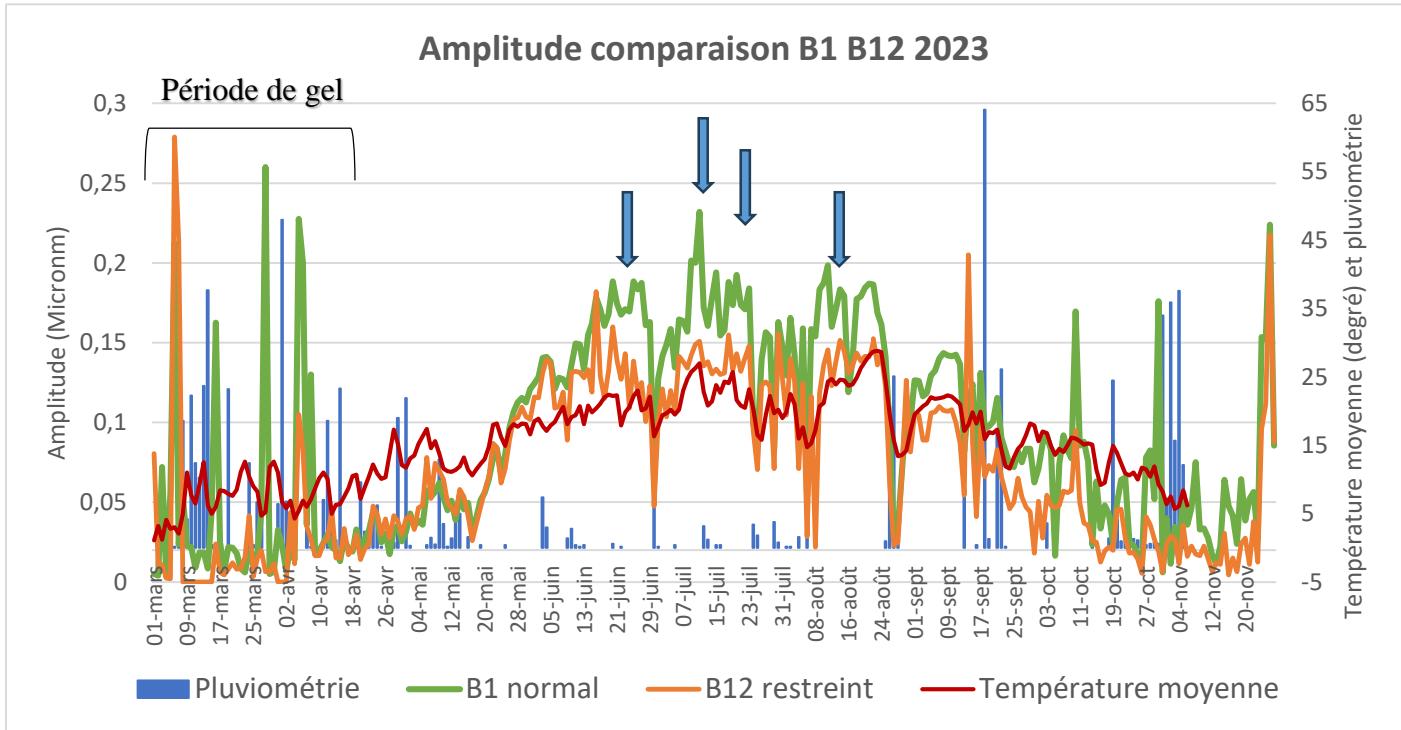


Croissance Journalière (LVDT à 00h J+1 - LVDT à 00h J) pour les dendromètres B1 (courbe verte) en irrigation normale, B10 (courbe jaune) et B12 (courbe orange) en irrigations restreintes (-50% en quantité à chaque apport) pendant les jours précédents et suivant la 4ème irrigation. La croissance journalière représente l'activité photosynthétique de l'arbre. La courbe rouge représente la température maximale journalière à cette période et la flèche le jour de l'irrigation.

La dernière irrigation est réalisée pendant la deuxième canicule, la plus intense et la plus longue. Elle se fait 15 jours après le début de la canicule au 14 août, avec des températures maximales oscillants entre 30 et 35°C. A ce stade le déficit pluviométrique est de 249 mm depuis le mois de mai par rapport à la normale 1991-2021. On se situe en pleine période de sécheresse (plusieurs arrêtés sécheresses avec restriction d'usage ont été émis). Les trois dendromètres étaient alors en début de stress (premier jour de décroissance après plusieurs jours de croissance nulle). Là encore on constate l'effet positif de l'irrigation sur la croissance. L'effet est deux fois plus important et plus long sur le B1 en irrigation pleine (6 jours de croissance après irrigation et un maximum supérieur à 0.04 atteint) par rapport au B10 et B12 ayant reçu deux fois moins d'eau (4 jours de croissance après irrigation et un maximum inférieur à 0.02).

- Amplitude

○ Comparaison entre ligne irriguée et ligne non irriguée



Amplitude Maximale de Contraction journalière = AMC (Amplitude maximale J – Amplitude minimale J) pour les dendromètres B1 (courbe verte) en irrigation normale et le B12 (courbe orange) en irrigation restreinte. L'AMC représente la contrainte hydrique de l'arbre : plus l'AMC est importante, plus la contrainte est forte. La courbe noire représente les températures moyennes, les histogrammes les pluviométries et les flèches bleues les irrigations.

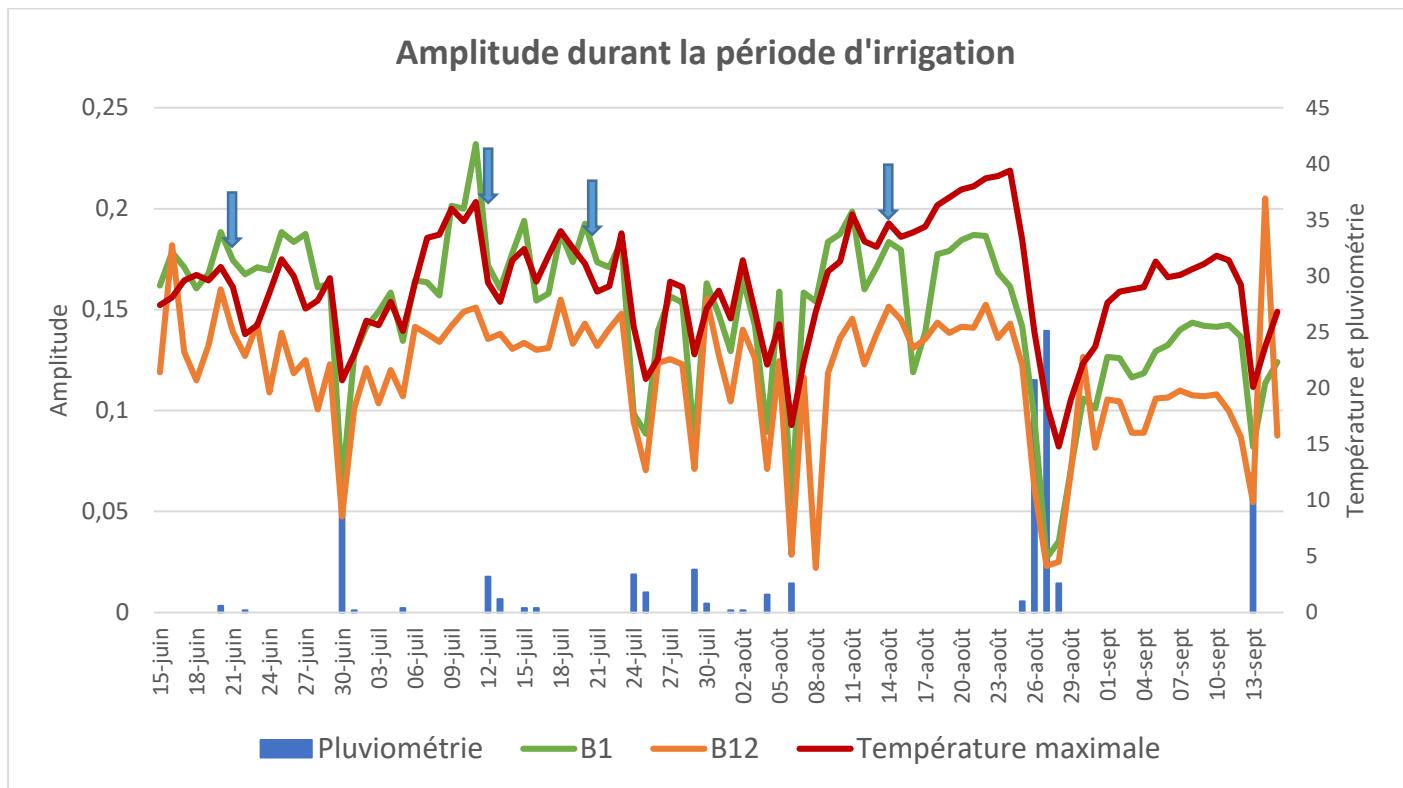
On rappelle que l'AMC correspond à la transpiration et donc à la contrainte hydrique de l'arbre. A l'échelle de la saison la dynamique de respiration/transpiration des deux lignes est similaire. Les fortes contractions liées au gel se terminent début avril (gelées tardives après débourement). Leurs valeurs maximales se situent autour de $0.25\mu\text{m}$ pour les deux dendromètres. Le début de la respiration se fait vers mi-avril avec le développement des feuilles. Les AMC restent autour de $0.05\mu\text{m}$ jusqu'à mi-mai en lien avec des conditions très pluvieuses. A partir de là, les amplitudes augmentent de façon exponentielle avec l'arrêt des pluies. Elles vont rester élevées jusqu'à mi-septembre et sont très corrélées aux températures.

L'effet des irrigations est visible mais souvent bien moins notable qu'une pluviométrie, comme c'est le cas le 30 juin avec les 11 mm qui font redescendre les amplitudes à des niveaux bas (bien que sur une durée très courte). Ceci peut s'expliquer par le fait que les pluies sont généralement associées dans nos régions à des baisses significatives des températures et donc une réduction de la transpiration (température moyenne passant de 22 à 16 degrés pour la période du 30 juin, 1^{er} juillet). Ceci n'est pas le cas lors des irrigations où les températures restent élevées.

On ne note pas de différence de cinétique d'amplitude entre les deux modalités d'irrigations (restreint et normal).

La restriction d'irrigation ne semble pas cette année avoir d'impact négatif sur les amplitudes.

- **AMC pendant la période d'irrigation**

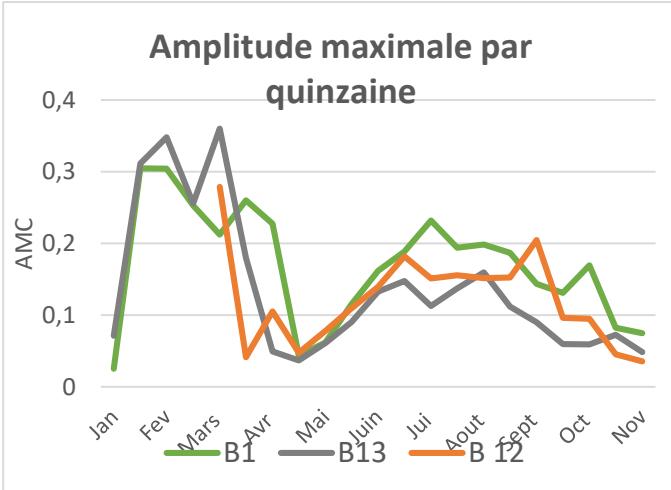


Amplitude Maximale de Contraction journalière = AMC (Amplitude maximale J – Amplitude minimale J) pour les dendromètres B1 (courbe verte) en irrigation normale et le B12 (courbe orange) en irrigation restreinte. L'AMC représente la contrainte hydrique de l'arbre : plus l'AMC est importante, plus la contrainte est forte. La courbe noire représente les températures moyennes, les histogrammes les pluviométries et les flèches bleues les irrigations.

Contrairement à ce qui est observé sur les croissances, on n'observe pas ou très peu d'effet des irrigations sur les amplitudes. On observe que les irrigations sous frondaison ne permettent pas de faire réduire les températures de façon significative. A contrario, les amplitudes diminuent de façon significative lorsque les températures diminuent fortement, associées ou non avec des précipitations. On peut en déduire que les amplitudes (transpiration de l'arbre) sont très liées aux températures et les irrigations sous frondaisons ne permettent pas de faire réduire les températures de façon significative.

C'est le cas du 29 au 30 juin avec une température maximale passant de 39.8 à 20.7 °C et des AMC qui passent de 0.16 ou 0.12µm à 0.062 ou 0.046µm. Il en va de même du 5 au 6 août, les températures maximales passent de 25.7 à 16.7 °C et les AMC de 0.16 ou 0.12µm à 0.054 ou 0.028µm. L'effet de la baisse de température sur l'AMC la plus notable est observée en fin de la deuxième canicule au mois d'août. On passe de 39.4°C le 24 août à 18.6°C le 27 août. Dans le même temps les AMC situées à 0.18 ou 0.14µm redescendent à 0.027 ou 0.023µm pour les 2 dendromètres. Cette baisse est d'autant plus spectaculaire qu'elle est associée à une pluviométrie.

○ Comparaison AMC hivernales et estivales



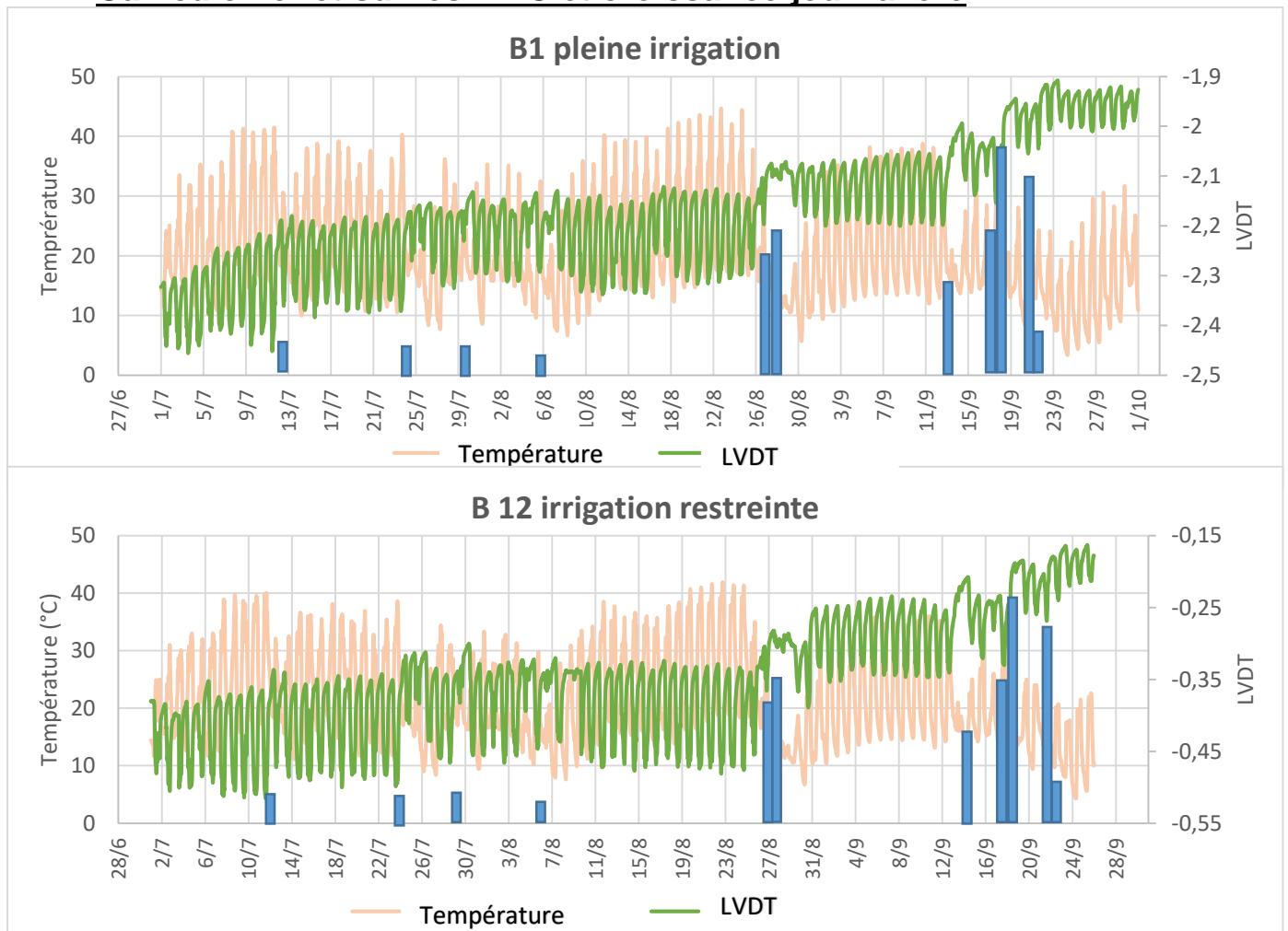
Amplitude Maximale de Contraction journalière par quinzaine = AMC (Amplitude maximale J – Amplitude minimale J) pour les dendromètres B1 (courbe verte) et B13 (courbe grise) en irrigation normale et B12 (courbe orange) en irrigation restreinte. L'AMC représente la contrainte hydrique de l'arbre : plus l'AMC est importante, plus la contrainte est forte. La courbe noire représente les températures moyennes, les histogrammes les pluviométries et les flèches bleues les irrigations.

L'amplitude maximale de contraction observée durant la période hivernale est liée au gel. Cette AMC correspond alors à la valeur maximale que pourra atteindre la branche pendant la saison estivale.

En période estivale, l'AMC reflète le niveau de contrainte hydrique de l'arbre. La comparaison de ces AMC aux AMC hivernales permet alors de se faire une idée du niveau de contrainte hydrique lié à la sécheresse. Plus l'AMC estivale est proche de l'AMC hivernale, plus le niveau de contrainte est élevé.

Les valeurs d'amplitudes maximales en saison atteignent pour les deux lignes environs 75% de l'amplitude maximales observées pendant les périodes de gel.

- Canicule : effet sur les AMC et croissance journalière



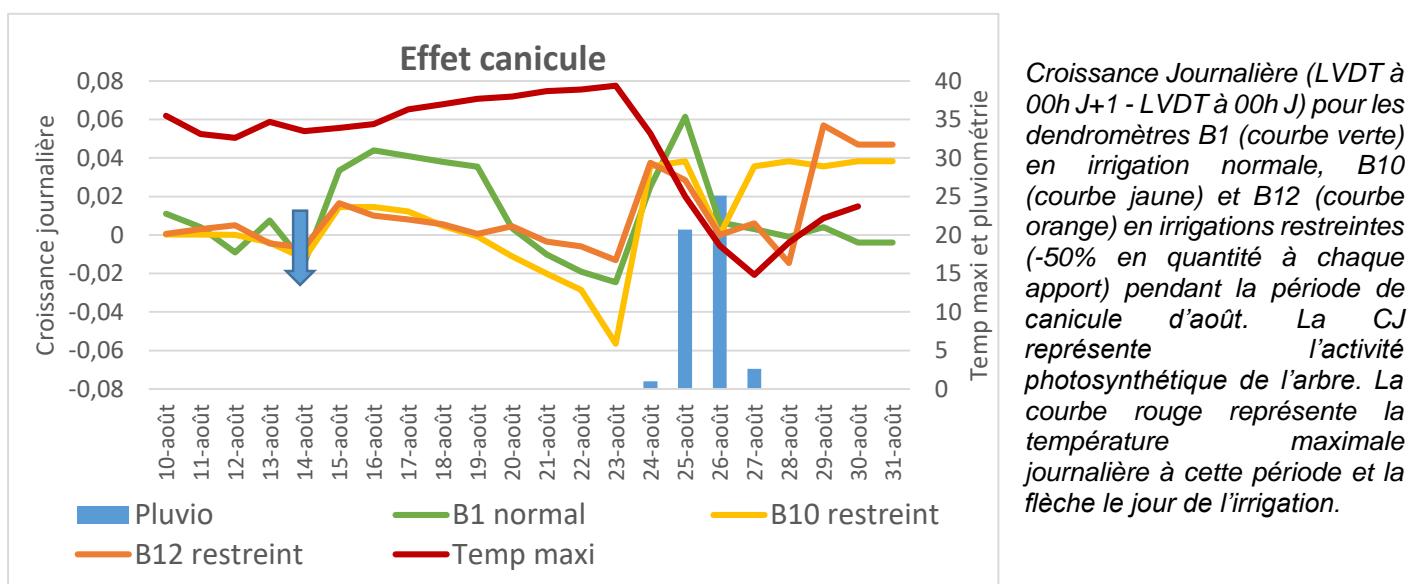
LVDT : Linear Variable Differential Transformer (courbe verte) : variation du diamètre de la branche sur laquelle est installé l'appareil pour les dendromètres pour B1 (graphique du haut) en irrigation normale et B 12 (graphique du bas) en irrigation restreinte et température (courbe orange) pendant les périodes de canicule allant de début juillet à fin septembre

Comme indiqué précédemment, l'amplitude est très corrélée à la température. Ici on observe les courbes obtenues par les dendromètres pendant les mois de juillet et août. On parle souvent de l'effet sécheresse, néfaste pour les arbres, mais l'effet canicule est tout aussi pénalisant.

En fin de chaque canicule, lorsque les températures redescendent (le 24 juillet, le 26 août et le 13 septembre), les AMC se réduisent très fortement, avant même l'arrivée de précipitation. L'évapotranspiration est alors réduite drastiquement et les arbres ne sont plus en contrainte hydrique.

Un deuxième phénomène suite à la baisse des températures après une période de canicule est observé : c'est la reprise de la croissance et donc de l'activité photosynthétique. Ce phénomène n'est observé qu'après une canicule. Avant la canicule la croissance est constante et ne varie pas avec la température.

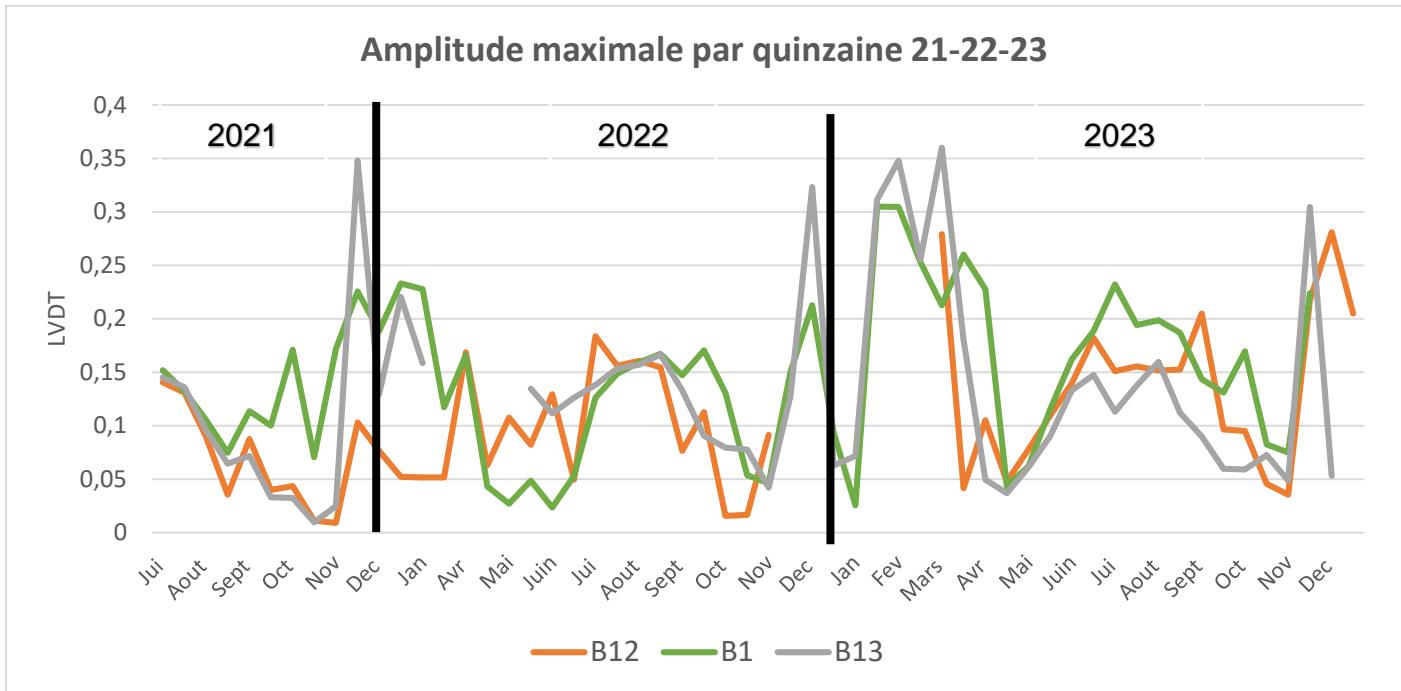
- Croissance journalière



L'effet de la canicule sur la croissance est détaillé dans le graphique ci-dessus. Il s'agit ici de la canicule la plus intense de l'année sur la période allant du 9 au 25 août. Les températures maximales ont frôlé les 40°C et sont restées au-dessus de 35°C pendant 10 jours. Une irrigation a été réalisée le 14 août. Comme décrit précédemment, elle a permis une reprise de croissance des 3 arbres observés. Par la suite, à partir du 21 ou 22 août, tous les arbres entrent en décroissance et sont alors en contraintes hydriques. On constate que c'est bien la baisse de température du 24 et 25 août avant même les précipitations qui permettent de stopper la décroissance. Puis l'effet cumulé de baisse de température et précipitation permet aux trois arbres de repasser en phase de croissance.

- **Comparatif 2021-2022-2023**

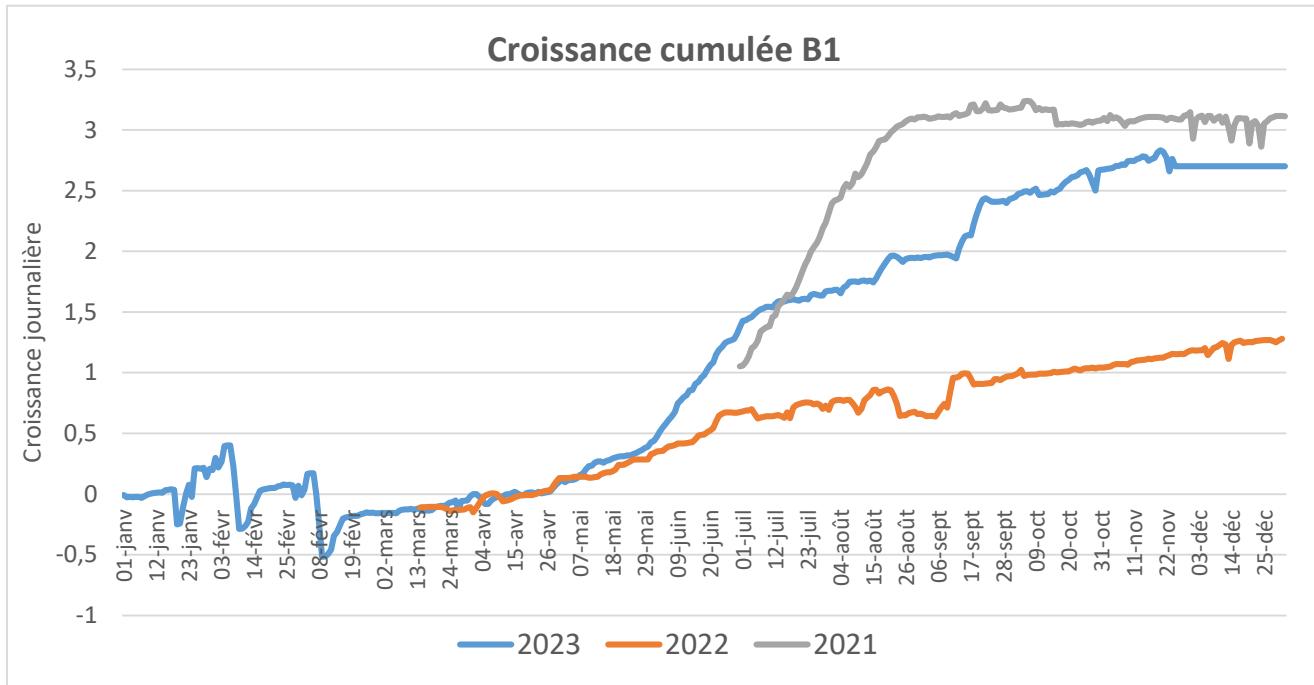
○ **Amplitude**



Amplitude Maximale de Contraction journalière par quinzaine = AMC (Amplitude maximale J – Amplitude minimale J) pour les dendromètres B1 (courbe verte) et B13 (courbe grise) en irrigation normale et le B12 (courbe orange) en irrigation restreinte sur les 3 années d'installation des dendromètres. L'AMC représente la contrainte hydrique de l'arbre : plus l'AMC est importante, plus la contrainte est forte.

Les amplitudes sur les 2.5 ans de suivi avec des dendromètres permettent de constater que les périodes de gel ont duré jusqu'à avril en 2022 et 2023. En 2022, la période de sécheresse/canicule a été très précoce, dès le mois de mai avec des amplitudes déjà élevées pour les dendromètres B13 et B12 (AMC maxi par quinzaine à 0.15). Par la suite ces amplitudes restent élevées jusqu'à octobre avec la fin des chaleurs. Hiver 2023, on note qu'il n'y a pas eu de gel conséquent en janvier 2023, mais des gelées tardives sévissent au mois d'avril après débourrement. Au mois de mai les amplitudes sont faibles pour les 3 dendromètres (0.05) en lien avec le printemps pluvieux. Puis ces valeurs augmentent en juin et restent importantes jusqu'en septembre ou octobre, en lien avec la baisse des températures. L'observation des températures par quinzaine permet d'avoir une approche globale des événements à l'échelle de la saison et comme indiqué précédemment de voir l'ampleur des contraintes hydriques estivales en comparant les AMC estivales aux AMC hivernales.

○ Croissance



Croissance Journalière cumulée (CJ J+CJ J-1) pour les dendromètres B1 (courbe verte) en irrigation normale pendant les trois années d'installation des dendromètres. La CJ représente l'activité photosynthétique de l'arbre.

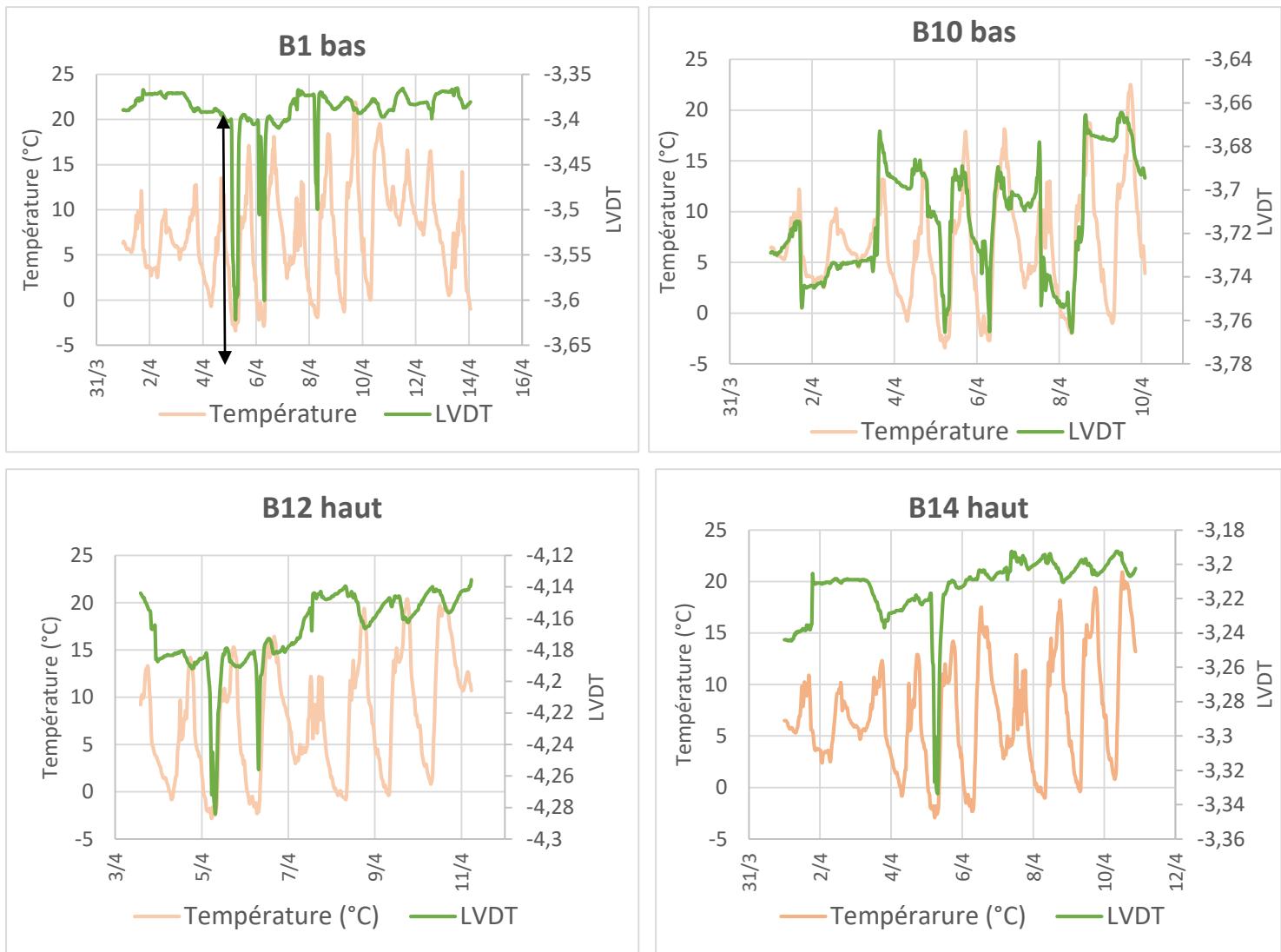
Le graphique permet de voir le comparatif entre les 3 années sur la croissance pour le dendromètre B1 (irrigation normale). Il s'agit ici de croissance cumulée qui permet de constater les phénomènes sur l'ensemble de la saison.

On constate que lors de l'année **2021** (année de forte pluviométrie, sans nécessité d'arrosage), la croissance a été la plus importante, constante, et visible jusqu'à mi-août.

En **2022**, l'année où la canicule et la sécheresse ont été les plus intenses, on note une très faible croissance qui cesse dès le 20 juin. A partir de là on alterne entre période de décroissance, plateau et courte période de faible croissance. La croissance reprend fin septembre, de façon peu importante mais constante jusqu'à fin novembre.

En **2023**, à la faveur d'un début de printemps pluvieux (mars, avril) la croissance après débourrement est assez importante et de même nature qu'en 2021. Puis cette croissance ralentit à partir de début juillet. Ensuite elle alterne entre phase de plateau et phase de croissance ralentie jusqu'à fin novembre avec l'enchaînement des périodes de canicule et sécheresse. On note une forte croissance début septembre avec le retour de température plus fraîche et de pluviométrie.

- Cas particulier du gel



LVDT : Linear Variable Differential Transformer (courbe verte) : variation du diamètre de la branche sur laquelle est installé l'appareil selon la position des arbres dans la parcelle et température (courbe orange) pendant la période de gel post-débourrement de début avril. B1 et B10 sont situés dans le bas de la parcelle, B12 et B14 sont situés dans le haut de la parcelle.

	Température minimale observée / situation dans parcelle			Nombre d'heure de gel par jour / situation dans parcelle		
	Haut	Milieu	Bas	Haut	Milieu	Bas
05/04	-2.85	-3.25	-3.4	7.75	7.75	7.5
06/04	-2.3	-2.7	-2.8	7	7.5	7.25
08/04	-0.9	-1.45	-1.95	4.75	6.5	7.5
09/04	-0.4	-0.8	-1.15	1.5	2.25	3

Les dendromètres permettent également de voir l'effet du gel sur les arbres. Lors des épisodes de gel, si les cellules subissent l'effet du gel et prennent en glace, on observe des cycles de gel / dégel avec une très forte contraction lors de la prise en glace puis une décontraction avec retour à la normale lors de la phase de dégel. Ce sont les grands pics que l'on observe sur les graphiques ci-dessus (double flèche). Plus l'amplitude de la contraction est grande, plus l'impact du gel est intense. Si le LVDT revient à même niveau qu'avant le gel, il n'y a pas de conséquence néfaste pour l'arbre et les bourgeons. A contrario, si le LVDT ne revient pas à même niveau, il y a des dommages au niveau cellulaire.

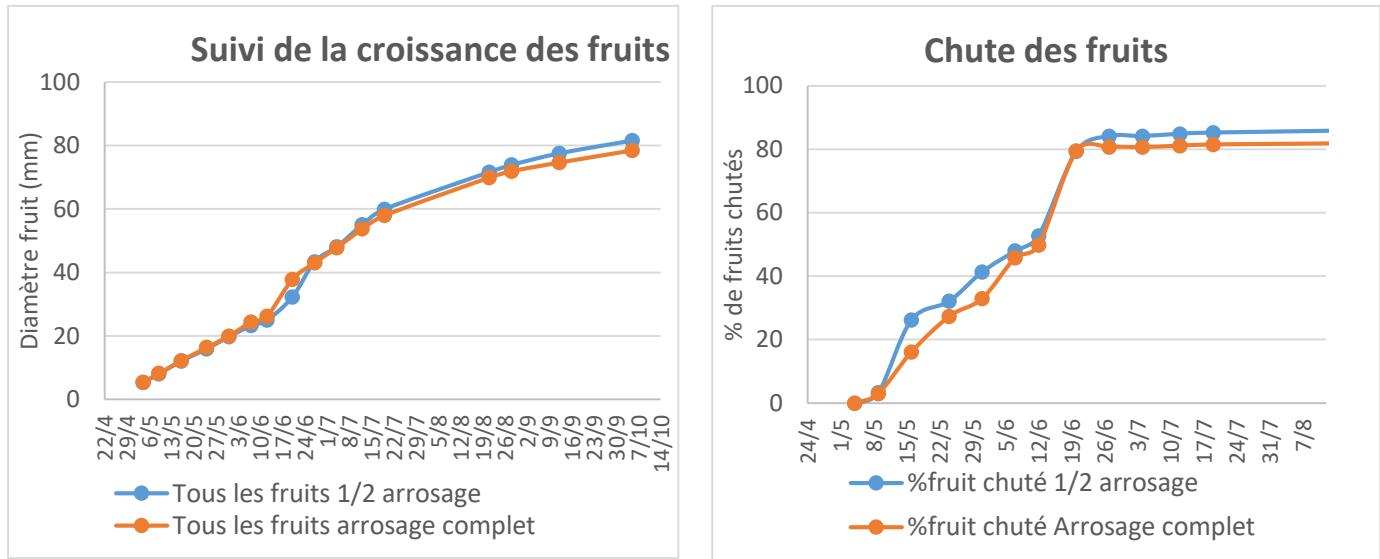
Les graphiques ci-dessus représentent la période de gel survenue en post-débourrement en avril 2023 avec 4 jours de gel observé les 5, 6, 8 et 9 avril. A cette période les arbres sont au stade E-

E2. La parcelle est en pente, les dendromètres B1 et B10 sont en bas des lignes et les B12 et B14 sont en haut des lignes. La différence de température entre le haut et le bas de la parcelle se situe entre 0.5 et 1 degré (voir tableau) avec un gel plus intense les 5 et 6 avril (-2.3 à -3.25°C). Lors des 5 et 6 avril, le nombre d'heure de gel est sensiblement équivalent entre le haut et le bas de la parcelle (7 à 8h), par contre il est moindre en haut de la parcelle pour les 8 et 9 avril.

Les arbres situés en bas de la parcelle subissent le gel le 05, 06 et 08 avril mais il n'y a pas de prise en glace le 09 avril. Pour les arbres en haut de la parcelle, le B12 subit le gel le 05 et 06 avril mais pas le 08 et 09 (en lien avec les températures minimales moins basses et surtout le nombre d'heure de gel réduit de 1/3). Le B14, lui ne subit le gel que le 05 avril.

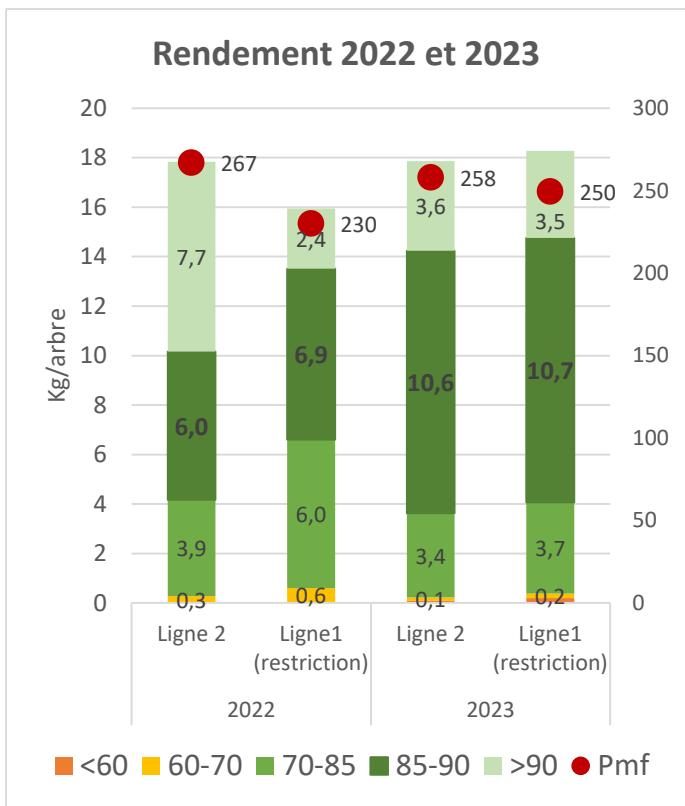
Ceci permet de voir les nombreuses possibilités que proposent les dendromètres et les intérêts qu'ils peuvent apporter sur la lecture de l'impact climatique sur un végétal.

- Agronomie



Au total se sont 36 corymbes par modalités qui ont été suivis (soit 265 à 270 fruits en début de saison). Au niveau cinétique de croissance des fruits, aucune différence n'est observée de la nouaison à la récolte. La croissance journalière est régulière de la nouaison à mi-juin, entre 0.5 et 0.6 mm/jour. Puis on observe une prise de calibre plus importante jusqu'à mi-juillet (0.7 à 1.6mm/jour) avant que la sécheresse ne ralentisse la croissance journalière entre 0.2 et 0.35 mm/jour.

Les courbes de chutes des fruits à la nouaison ainsi qu'à la fructification sont semblables. La chute est régulière de la nouaison à mi-juin où 50% des fruits sont tombés. De là, on constate la chute physiologique entre le 12 et le 20 juin. In fine, se sont entre 80 et 90% des fruits suivis qui chutent. Il ne ressort pas non plus d'effet flagrant de booste de croissance des 4 irrigations.

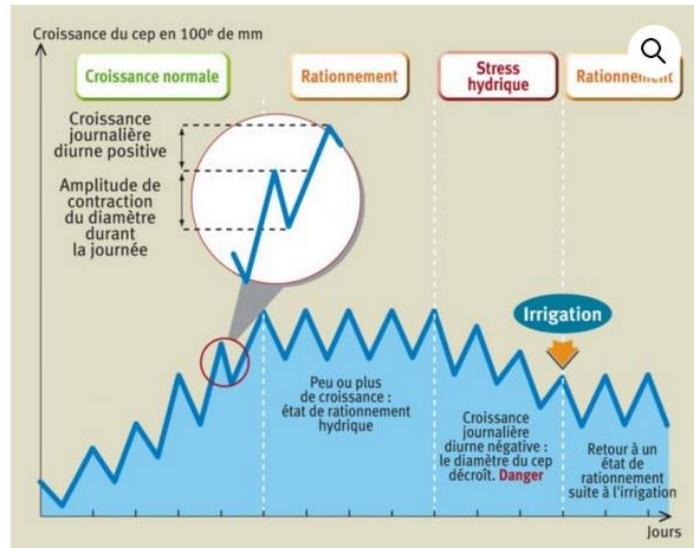


Au niveau récolte, contrairement à 2022 on n'observe aucune différence entre les modalités. Après deux années cumulées de restriction la productivité se maintient. Bien qu'étant encore une année très chaude, de canicule et de sécheresse, l'année 2023 a été marquée par une pluviométrie printanière plus importante. De plus les phénomènes climatiques extrêmes sont arrivés de façon plus tardive en 2023 par rapport à 2022. Ceci est prometteur pour des variétés à gros calibre d'autant qu'il s'agit d'effet cumulatif. Dans le détail, la production oscille entre 16 et 18 kg/arbre les deux années soit 33 à 37 T / ha pour des arbres en 5ème feuille. Sur la ligne en pleine irrigation, les fruits étaient légèrement plus gros en 2022 avec un poids moyen des fruits de 267 g contre 258 en 2023. C'est dans les très gros calibre que ce gain se fait (supérieur à 90 mm) pour les deux années et les deux modalités. Il y a très peu de petit fruit avec moins de 0.6 kg/arbre inférieur à 70mm.

- Pilotage

		DATE IRRIGATION			
		20/06	12/07	21/07	14/08
Normal	B1	Green	Orange	Red	Orange
	B13	Orange	Orange	Red	Orange
	B14	Green	Light Green	Orange	Orange
	B10	Orange	Orange	Red	Orange
	B11	Orange	Red	Orange	Orange
	B12	Green	Orange	Orange	Orange

- █ Confort hydrique
- █ Début rationnement
- █ Rationnement
- █ Début stress hydrique
- █ Stress hydrique



Le schéma de gauche représente ce qui est fait en vigne pour le pilotage avec les dendromètres. Il nous a servi de base en fin de saison. Les irrigations sont mises en place pour cette culture lorsque la croissance journalière est négative sur plus de 48h. Dans notre essai en 2023, les irrigations sont déclenchées lorsque les arbres sont en rationnement.

Lors de la première irrigation, certains arbres étaient en phase de confort hydrique, d'autres était en rationnement. Cette première irrigation a été mise en place en fonction des observations des dendromètres mais également des ETP (bulletin).

A la deuxième irrigation, un des arbres était en stress hydrique, 2 en début de stress et 2 en rationnement. Aucun des arbres n'étaient en phase de confort.

A la 3^{ème} irrigation tous les arbres se trouvaient soit en stress hydrique, soit en rationnement, il s'agissait en plus du début de la première période de canicule

Enfin lors de la dernière irrigation, tous les arbres étaient soit en phase de rationnement soit en début de stress hydrique.

Une des contraintes majeures du pilotage est qu'il n'existe pas de valeurs seuils. Il faut observer en cours de saison les courbes de LVDT et voir les augmentation d'amplitude et les dynamique de croissance (plateau ou décroissance). Le fait de laisser les dendromètres en place sur les arbres toutes la saison permet d'avoir des données sur toute l'année. Cela facilite l'interprétation des courbes en comparant les amplitudes estivales à celles hivernales.

Il paraît également indispensable d'installer plusieurs dendromètres pour réaliser un pilotage adéquat. La lecture des courbes des dendromètres doit être régulière afin de piloter : minimum une fois par semaine lorsque l'on rentre en période de climatologie extrême comme ici avec les sécheresses / canicules. Cela permet de faire une lecture comparative.

L'intérêt de l'outil Grafana est sa capacité à donner les LVDT sur des périodes allant de 2h à 1 an. On obtient ainsi un effet très visuel sur tous les aspects détaillés dans les paragraphes précédents :

- Ralentissement de croissance pouvant être les prémisses de stress hydrique
- Décroissance
- Forte augmentation d'amplitude sur du moyen terme
- Phénomène de gel / dégel

IV CONCLUSION

- **Dendromètre** : cet outil donne de nombreuses informations sur l'état physiologique de l'arbre. Cela permet ainsi d'avoir de multiples applications possibles comme le pilotage de l'irrigation ou l'observation de l'impact du gel sur le végétal. Son installation est simple mais doit être faite de façon minutieuse. Il doit être positionné dans le tiers supérieur de l'arbre sur des branches ayant des diamètres similaires.
- **Agronomie et pilotage** : 2023 est la première année d'un réel pilotage avec les dendromètres, il reste des ajustements à faire. Les deux premières années ont permis de se familiariser avec les données de ce nouvel outil et de déterminer comment piloter. Deux paramètres apparaissent essentiels : la Croissance Journalière (CJ) représentant l'activité photosynthétique et l'amplitude maximale de contraction (AMC)représentant la contrainte hydrique ou transpiration.

L'objectif de réduire de 50% les quantités d'eau apportées est atteint. Globalement peu d'impact sur le rendement pour des variétés à gros calibre comme Idared d'autant que 2022 et 2023 ont été marquées par des sécheresses / canicule très importantes.

Avec le soutien de :



PÔLES D'EXPÉRIMENTATIONS PARTENARIALES
POUR L'INNOVATION ET LE TRANSFERT
VERS LES AGRICULTEURS D'AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

