h e p i a
Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Hes·SO GENÈVE
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Rapport annuel du suivi de reprise des arbres

Rue Joseph Girard

Plantation de *Celtis australis*

Année 2023, 2ème année

Laboratoire des sciences du sol

Table des matières

1. Plan de situation 3

2. Suivi hydrique 3

Récapitulatif du suivi 1ère année 3

Suivi 2023, 2ème année 4

3. Mesures biologiques – Grossissements 5

4. Développement 6

5. Perspectives pour 2024 7

Annexe 1 : Bilan climatique 2023 8

En détail 8

Printemps 2023 8

Été 2023 9

Automne 2023 9

Les évènements extrêmes de 2023 11

Bibliographie et liens 12

1. Plan de situation

À l'automne 2021, trois *Celtis australis* ont été plantés derrière le théâtre de Carouge, rue Joseph Girard. Deux des trois arbres ont été équipés de sondes tensiométriques type Watermark©, respectivement le n° 1 et 3 présentés en Figure 1. Le laboratoire des Sols de l'HEPIA n'est intervenu ni dans la conception ni dans la réalisation des fosses. Elles ont été inspirées du modèle de fosse de Stockholm ; soit dans une fosse continue composée d'un mélange pierre/biochar-compost recouvert d'une couche de terre végétale dans laquelle les arbres ont été plantés. Le système mis en place permet la récupération des eaux de trottoir directement infiltrées ainsi que d'une partie des eaux de chaussée qui elles, sont réparties dans la fosse par un drain diffuseur.

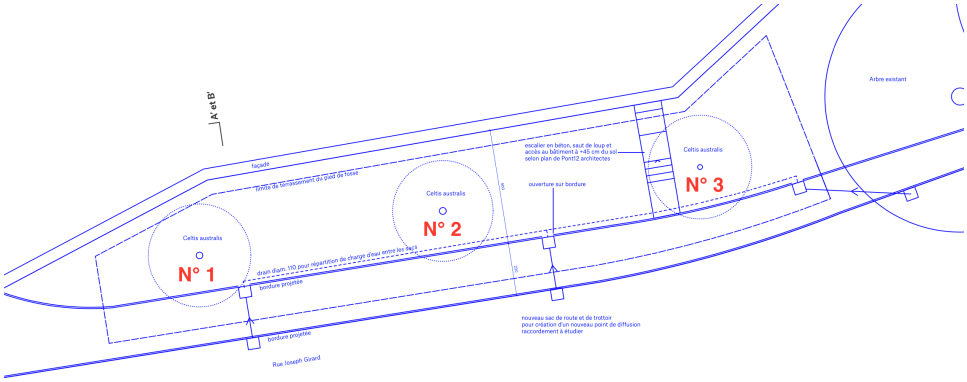

Figure 1: Plan des deux arbres équipés pour le suivi tensiométrique rue Joseph Girard.

L'arrosage est fait manuellement par l'entreprise Truchet SA. De plus en fin juin 2023 les arbres ont été équipés de sacs d'arrosage de 75L.

Sur chaque arbre équipé, trois sondes ont été installées comme détaillé dans le Tableau 1.

Tableau 1: Distances et profondeurs des sondes installées pour le suivi tensiométrique des arbres.

Sondes	Distance du tronc [cm]	Profondeur [cm]
Rouge	30	28
Noire	50	28
Vert-jaune	80	50

2. Suivi hydrique

Récapitulatif du suivi 1ère année

En 2022, les valeurs tensiométriques dans la motte ont montré que la demande en eau était déjà très élevée dès la première semaine de suivi (sem. 24) et que les arbres se trouvaient en déficit hydrique. L'enracinement en dehors de la motte a été attesté pour tous les arbres en semaine 29 faisant monter le seuil d'irrigation à -75 cb. Il y a eu 13 arrosages (300 L/arbre dont deux 600 L) recommandés sur la saison, qui ont été efficaces pour la plupart. La sonde en profondeur a commencé à réagir en semaine 28 et l'enracinement s'est confirmé en semaine 40. Aucune donnée n'a été transmise en semaine 32.

Suivi 2023, 2ème année

La période de végétation 2023 a été globalement chaude et ensoleillée. Le printemps 2023 est plutôt doux mais marqué par un ensoleillement inférieur à la moyenne. Bien que pluvieux dans de nombreuses régions, le canton de Genève est resté déficitaire durant cette période. En été, la Suisse a connu son cinquième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Tout comme l'automne qui enregistre des températures records. Durant ces périodes, la chaleur a été accompagnée d'un fort ensoleillement, ce qui a conduit localement à l'automne le plus ensoleillé depuis le début des mesures.

Le bilan climatique complet de la période de végétation 2023 est disponible en annexe 1.

Le graphique (Figure 2) ci-dessous présente les résultats de suivi Watermark© 2023.

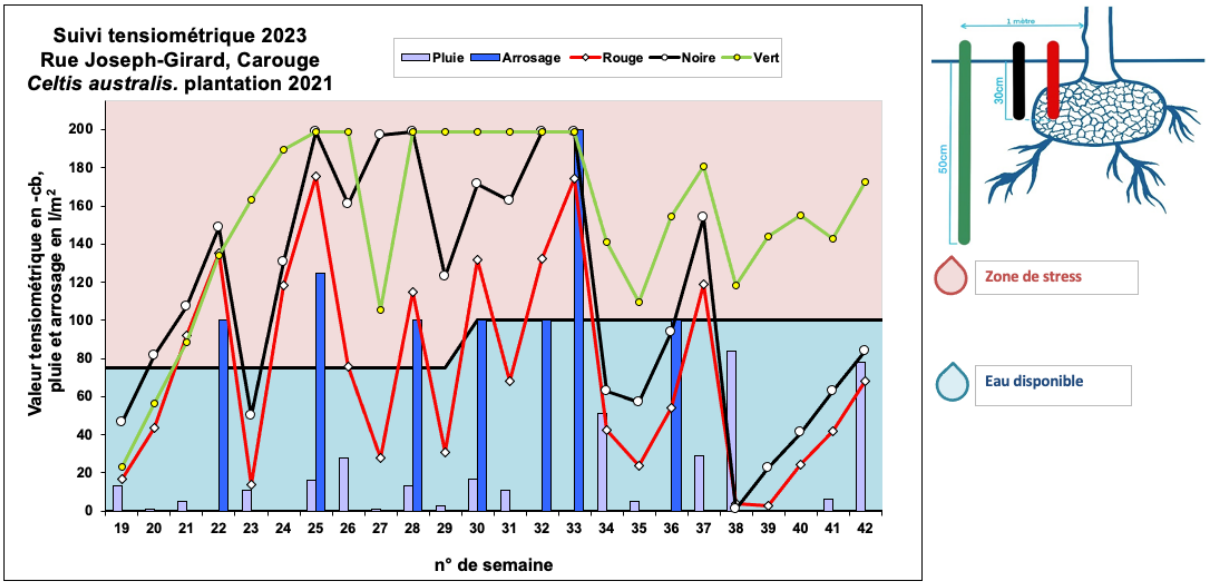

Figure 2. Suivi tensiométrique de la plantation Joseph Girard. Les histogrammes présentent les pluies (bleu clair) et les arrosages (bleu foncé). Les courbes détaillent les valeurs tensiométriques de la sonde placée dans la motte (rouge), hors motte (noire) et en profondeur (verte). La délimitation en fond défini le seuil d'arrosage avec en bleu la zone considérée comme confort hydrique et en rouge la zone de stress ressenti par la plante.

OBSERVATIONS 2023 :

- **Seuil d'arrosage :** -75 cb puis -100 cb
- **Nombre d'arrosages :** 7
- **Quantité d'eau apportée :** 2.7 m^3/arbre
- **Pluviométrie période de suivi :** 372 L/m^2

Les valeurs tensiométriques augmentent dès la première semaine de suivi (sem. 19) mais ne dépassent le seuil qu'en semaine 21. Dès lors, la moyenne des 2 arbres est proche des -100 cb à faible profondeur mais l'arbre n°1 subit déjà un stress important avec moins de 130 cb enregistré sur la sonde verte en profondeur. Un arrosage est donc préconisé (300L en 2 fois) mais qui ne sera pas appliqué. L'arrosage de la semaine suivante à cependant permis de retrouver des valeurs acceptables à faible profondeur.

Le même constat est fait en semaine 24 avec une consigne de 300L qui ne sera appliquée qu'en semaine 25 avec un supplément de 75L via les sacs d'arrosage. Cependant seul les pluies de la semaine suivante (26) permettent de faire enfin baisser les valeurs en profondeur.

Entre les semaines 27 à 32, des arrosages toutes les deux semaines sont nécessaires mais ne parviennent pas en profondeur. Un double arrosage (600L) est donc effectué en semaine 33, qui lui est efficace.

Les précipitations s'intensifient dès la semaine 34. Un dernier arrosage est recommandé en semaine 36 n'ayant cependant pas d'effet sur les valeurs qui continuent de grimper. Nous n'avons pas de confirmation qu'il ait bien été effectué par l'entreprise en charge.

Concernant l'enracinement en profondeur, étant bien établi au cours de l'été, le seuil d'irrigation est donc réhaussé à -100 cb en semaine 30.

3. Mesures biologiques – Grossissements

La circonférence des troncs des arbres est mesurée lors de la plantation puis chaque année en fin de saison (novembre). Cette mesure est un bon indicateur de la vigueur et de la reprise des arbres, elle est fiable à 0,5 cm. Les circonférences sont mesurées à 1 m du sol et sont indiquées en centimètre.

Comme base de comparaison le Tableau 2 présente les moyennes de grossissement des trois *Celtis australis* après deux ans ainsi que les moyennes de grossissement observées à Genève pour cette essence.

Tableau 2 : Mesures de grossissement des arbres suivis à la rue Joseph Girard sur deux ans et comparaison aux moyenne Genevoise observées (chantiers HEPIA suivi sur le canton de Genève).

Arbre N°	Juin 2022	Nov. 2022	Nov. 2023	Gross. 2022	Gross. 2023
1	29	30	34	1	4
2	28.5	29.5	35	1	5.5
3	28	30	36	2	6
Moyenne	**28.5**	**29.5**	**35**	**1.3**	**5.2**
Moyenne GE				**1.3**	**3.3**

Pour rappel en 2022**,** le grossissement annuel moyen était de 1.3 cm. La première mesure ayant été faite en juin lors de l'installation des sondes, ces valeurs sous-estimaient probablement le grossissement réel de l'année. Il restait cependant très bon au regard de la moyenne Genevoise pour cette essence.

En 2023, les grossissements sont très positifs avec une moyenne de 5.2, ils se placent nettement au-dessus des observations genevoises. Cela peut s'expliquer entre-autre par les arrosages nombreux et conséquents apportés cette année.

4. Développement

Des photos sont prises à la plantation et toutes les années au mois d'août afin de pouvoir suivre le développement foliaire et aérien de la plantation. Ces dernières sont présentées en Figure 3, 4 et 5 ci-après. Aucun dégât n'a été observé et les arbres montrent un bon développement foliaire de 2022 à 2023.

Figure 3 : Développement annuel de l'arbre n°1 de juin 2022 à Août 2023

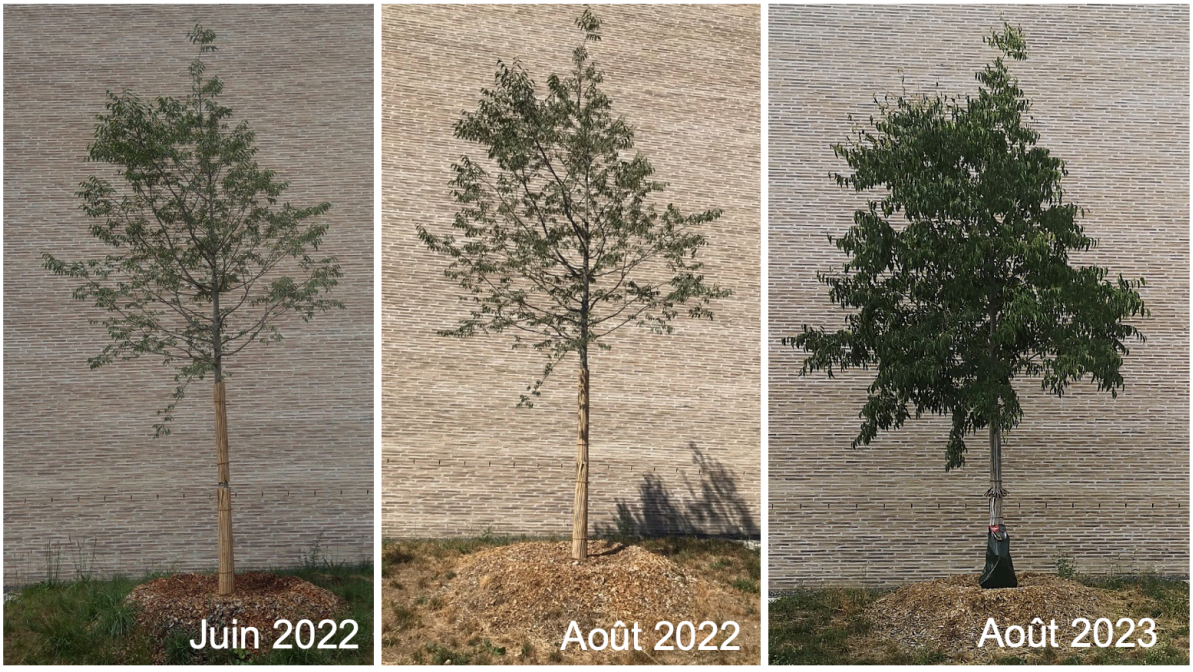

Figure 4 : Développement annuel de l'arbre n°2 de juin 2022 à Août 2023

Figure 5 : Développement annuel de l'arbre n°3 de juin 2022 à Août 2023

5. Perspectives pour 2024

Il est prévu de poursuivre le suivi hydrique pour l'année 2024. Une attention particulière sera donnée au suivi afin d'identifier les apports réels et leur efficacité pour nous permettre de limiter au maximum les arrosages durant la troisième année et de tendre vers une autonomie de la plantation.

Dans ce sens, il serait intéressant d'avoir accès au suivi du niveau d'eau dans la fosse afin de mieux comprendre le comportement de la plantation suite aux arrosages et aux épisodes de pluie.

Marie Palman
Collaboratrice HES
Filière Agronomie
Laboratoire des sciences du sol

Martin Secretan
Assistant HES
Filière Agronomie
Laboratoire des sciences du sol

Annexe 1 : Bilan climatique 2023

La période de végétation 2023 a été globalement chaude et ensoleillée. Le printemps 2023 est plutôt doux mais marqué par un ensoleillement inférieur à la moyenne. Bien que pluvieux dans de nombreuses régions, le canton de Genève est resté déficitaire durant cette période. En été, la Suisse a connu son cinquième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Tout comme l'automne qui enregistre des températures records. Durant ces périodes, la chaleur a été accompagnée d'un fort ensoleillement, ce qui a conduit localement à l'automne le plus ensoleillé depuis le début des mesures.

En détail

Printemps 2023

A l'échelle nationale il s'agit du printemps le plus arrosé depuis le début des mesures (1961). A Genève cependant, les précipitations sont déficitaires et équivalent à 76 % de la norme (1991-2020), soit un total de 159 mm. Sur la période, et à Genève, la moyenne des températures sont légèrement plus élevées que la norme (+ 0.5°C). Le mois de mars a été relativement doux - contrairement au mois d'avril plus frais (-0.8°C) - et très pluvieux (140 %). Le printemps 2023 a laissé peu de place au soleil avec un ensoleillement déficitaire équivalent à 84% de la norme.

Indice de printemps (1954-2023) :

L'indice du printemps montre une très forte corrélation avec l'évolution des températures entre janvier et avril (Figure 6). En 2023 la végétation s'est développée 3 jours plus tôt que la moyenne 1991-2020 ce qui peut être considérer comme dans la norme. Le temps frais du mois d'avril a freiné le développement des plantes printanières qui présentaient en mars une avance sur la moyenne. Les feuilles des arbres à feuilles caduques ont éclos à partir de début avril, avec un léger retard de 0 à 4

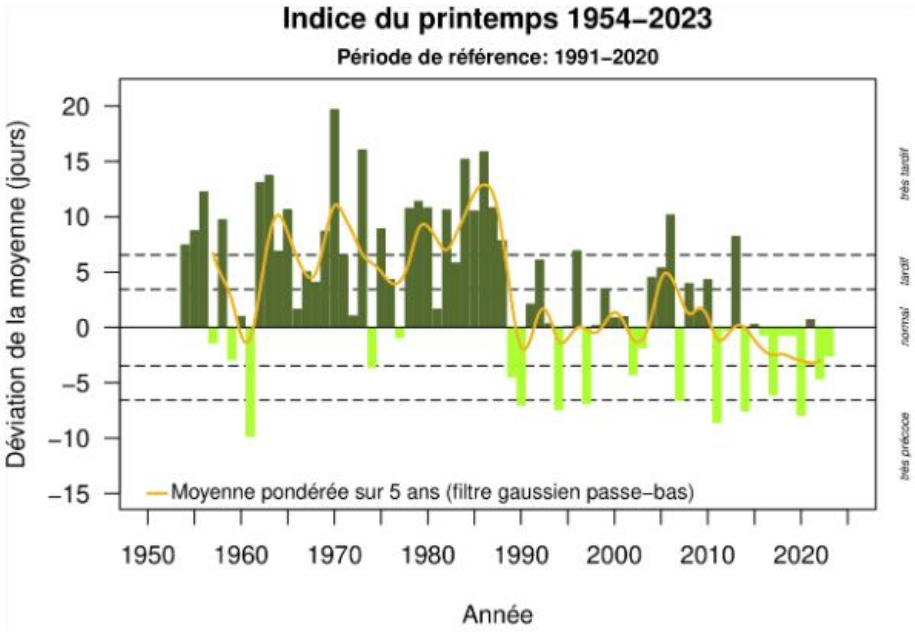

Figure 6. Indice du printemps 1954-2023, indicateur du développement de la végétation Suisse comparé à la norme de référence 1991-2020. MétéoSuisse

jours. Le bourgeonnement des marronniers s'est vu dès le début du mois d'avril suivi par les bouleaux. Le déploiement des feuilles des hêtres a été observé plus fréquemment à partir du 20 avril.

Été 2023

La Suisse a connu son 5ème été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 (+ 1.6°C par rapport à la norme 1991-2020 en moyenne nationale). Deux épisodes caniculaires ont touché le canton de Genève avec des températures dépassant les 37°C. En juillet, le canton a connu l'une des périodes de chaleurs sur 3 jours les plus intenses depuis le début des mesures en 1864 avec des températures maximales journalière supérieures à 36°C.

En août, Genève subit 15 journées tropicales consécutives avec une moyenne de la température maximale journalière atteignant les 34,8 °C. Pour Genève, il s'agit de la deuxième (avec 1983) plus longue période avec des températures maximales journalières dépassant systématiquement les 30°C. Genève enregistre également la température la plus élevée mesurée en Suisse en 2023 : 39,3°C. Il s'agit également de la température la plus élevée jamais mesurée en août sur l'ensemble du Nord des Alpes et du Valais.

Les précipitations sont restées globalement déficitaires sur le canton. Le mois de juin relativement sec avec des précipitations atteignant 89 % de la norme (74 mm). Le mois de juillet et août enregistrent respectivement 40 et 89 % des précipitations attendues.

L'ensoleillement a quant lui été largement supérieur grâce notamment au mois de juin très ensoleillé (+ 121 %). La moyenne estivale se situe à +105 %.

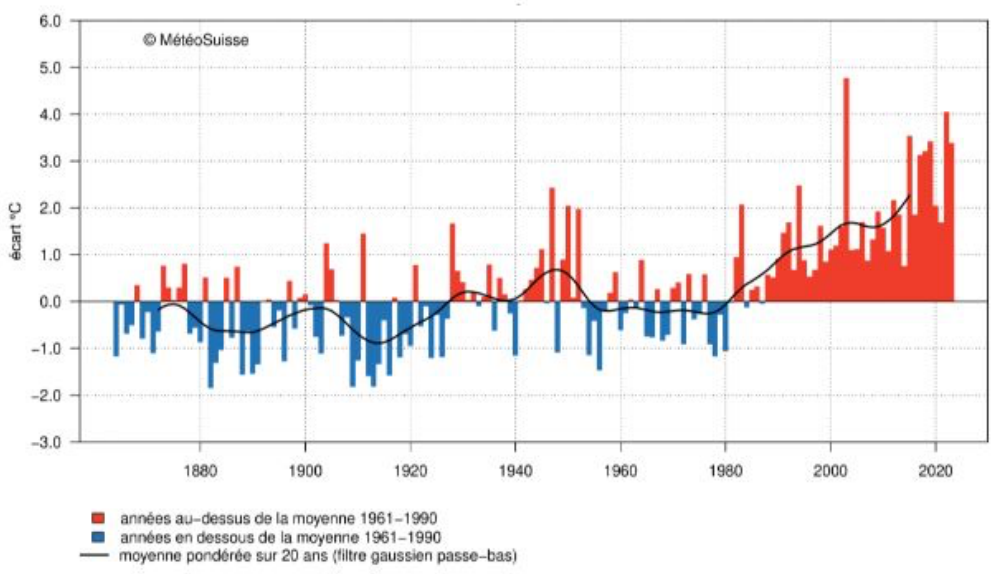

Figure 7 : Écart à la norme 1961–1990 de la température saisonnière en Suisse. Les températures saisonnières trop chaudes sont en rouge, les températures saisonnières trop froides sont en bleu. La ligne noire montre une évolution de la température avec une moyenne pondérée sur 20 ans. Référence : MétéoSuisse.

Automne 2023

La Suisse a globalement enregistré son automne le plus chaud depuis le début des mesures. A Genève, on enregistre une moyenne supérieure de + 2.4°C au-dessus des normes (1991-2020) battant ainsi un

nouveau record de température automnale. La douceur extrême s'est étendue sur le mois de septembre jusqu'à la première 15^{aine} d'octobre. En moyenne nationale, il s'agit du deuxième mois d'octobre le plus chaud depuis le début des mesures.

Durant le mois de septembre, Genève a enregistré 6 journées tropicales avec une température maximale journalière de 30 °C ou plus (avec une moyenne globale de + 3.4°C par rapport à la norme). Septembre est également très ensoleillé sur la région (+144%) avec des précipitation légèrement supérieure (+108%).

En octobre, la moyenne sur Genève est de + 2.7°C par rapport à la norme. La station de Genève-Cointrin mesure 5 journées estivales avec un maximale de 25°C ou plus. En Suisse romande et en Suisse centrale, il s'agit localement de l'un des mois d'octobre les plus ensoleillés depuis le début des mesures. L'automne enregistre ainsi un niveau record d'ensoleillement avec un cumul de 480 h à Genève équivalent à 131 % de la norme saisonnière.

Dès la mi-octobre le froid et de fortes précipitations s'installent. En Suisse romande, les précipitations ont été abondantes du 18 au 20 octobre. Il s'agit pour Genève de l'un des dix mois d'octobre les plus arrosés depuis le début des mesures en 1864. L'automne est donc excédentaire en eau, avec 491 mm face à 276 normalement, soit + 178%, dont 209% en octobre.

Impact sur la végétation

L'automne 2023, avec ses températures élevées en début de saison, voit les feuilles des arbres caduques restées longtemps vertes. Les couleurs vives de l'automne apparaissent par temps ensoleillé avec des températures nocturnes plus basses, mais sans gel. Ces conditions ne sont apparues qu'à la fin du mois d'octobre. Dès lors, les hêtres et les tilleuls à grandes feuilles ont commencé à prendre des couleurs à partir du 10 octobre environ. A partir de la mi-octobre, on observe une coloration des feuilles sur les bouleaux pendants, les érables et les tilleuls à petites feuilles, ce qui a coïncidé avec la baisse des températures. En 2023, des informations sur la coloration des feuilles sont arrivées simultanément à toutes les altitudes (face normalement à une progression plus rapide en montagne qu'en plaine). D'après les informations disponibles, la coloration des feuilles a eu lieu, en 2023, 5 à 9 jours plus tard que la moyenne (1991-2020). Outre le temps et la durée du jour, l'emplacement et la sécheresse du sol jouent également un rôle dans la coloration des feuilles. Or en 2023 le réseau d'observations phénologiques n'a signalé que de rares cas de coloration très précoce des feuilles en raison de la sécheresse.

Tableau 3. Station Genève, données MétéoSuisse d'écart à la norme (1991-2020) pour le printemps, l'été et l'automne 2023.

	Température (°C)	Ensoleillement (%)	Précipitation (%)
Printemps	+ 0.5	84	76
Été	+ 2.2	105	72
Automne	+ 2.4	131	178

Les évènements extrêmes de 2023

En soirée du 29 juin de violents orages ont éclatés. Genève est touché avec 22.4 mm tombés en 10min ce qui constitue un nouveau record depuis le début des mesures. En raison de la forte sécheresse estivale des incendies ont touché le Valais le 17 juillet. En date du 24 juillet, des orages extrêmement violents touchent la Chaux-de-fond avec des rafales atteignant les 217 km/h faisant un mort et 40 blessés. Le 21 août, le dôme de chaleur a propulsé l'isotherme du zéro degré au-dessus de la Suisse à une altitude record de 5298 m. La deuxième valeur la plus élevée jamais enregistrée se produit dans la nuit du 3 au 4 septembre, l'isotherme du zéro degré a atteint une altitude de 5253 mètres.

Suite aux très forte précipitations automnales, L'Arve atteint un débit jamais mesuré de 1010 m^3/s le 15 novembre 2023 à Genève et entraine la fermeture de cinq ponts sur huit. La crue est due à l'accumulation de plusieurs facteurs aggravants notamment une saturation du sol par les pluies des semaines précédentes, une remontée de l'isotherme (0°C) à 2800 m d'altitude avec la présence d'un manteau neigeux conséquent en altitude (de 40 cm à 1 m dès 1500 m) et des pluies conséquentes dans le Chablais et haute vallée de l'Arve (jusqu'à 150 mm en 48h). Sur la base des données historiques, la période de retour de l'évènement est estimée à environ 200 ans. Le scénario se répète le 14 décembre avec un débit de l'Arve atteignant les 793 m^3/s.

Figure 8. Rhône, crue du 15 novembre 2023

Selon les scénarios climatiques CH2018, quel que soit le scénario d'émission de gaz à effet de serre envisagé, le réchauffement se poursuivra pendant au moins plusieurs décennies et s'accompagnera de vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et intenses. Les épisodes de canicule (notamment telle que survenue dans la seconde quinzaine d'août) s'inscrivent parfaitement dans les scénarios climatiques modélisés.

Bibliographie et liens

MétéoSuisse 2023: Bulletin climatologique de mars-octobre 2023. Genève.

Climat des Alpes, Etat du climat dans les Alpes centrales et orientales, Bulletin du semestre d'été 2023. Consulté sur en janvier 2024 sur : https://www.meteosuisse.admin.ch/dam/jcr:233afaee-6302-4990-b9cf-081d7b4978eb/alpenbulletin-sommer_FR_20231207_LowRes.pdf

République et Canton de Genève, communiqué de presse : Les autorités tirent le bilan de la crue historique de l'Arve du 15 novembre 2023. Consulté en janvier 2024 sur : https://www.ge.ch/document/autorites-tirent-bilan-crue-historique-arve-du-15-novembre-2023