Association de la Grande Cariçaie
Chemin de la Cariçaie 3
1400 Cheseaux-Noréaz
Suisse

T +41 24 425 18 88
info@grande-caricaie.ch
www.grande-caricaie.ch

Crue exceptionnelle du lac de Neuchâtel en été 2021

Évaluation de son effet sur des populations d'Inule de Suisse (*Inula helvetica* Weber)

28 mars 2023

1 INTRODUCTION

L'Association de la Grande Cariçaie (AGC) est responsable de la gestion du périmètre défini par ses statuts [1] sur la rive sud du lac de Neuchâtel. Dans ce périmètre, qui englobe 7 réserves naturelles (Figure 1), l'association s'engage, selon l'un des buts fixés par ses statuts, à promouvoir une gestion des milieux naturels visant à assurer la conservation des espèces animales et végétales pour lesquelles ce périmètre revêt une importance particulière. À cet effet l'AGC planifie et fait exécuter des travaux d'entretien essentiellement orientés vers la conservation des milieux naturels (fauchage, débroussaillage, décapage). Elle évalue l'efficience de ces travaux relativement aux objectifs conservatoires fixés, au travers d'un système d'inventaires et de monitorings de la flore et de la faune.

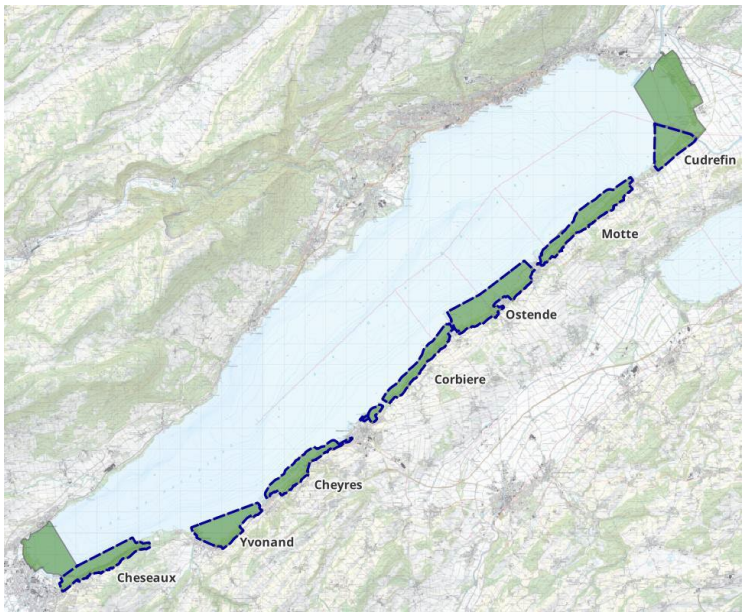

Figure 1 : En vert : périmètre statutaire de l'Association de la Grande Cariçaie (AGC). En traitillés bleu : limites des 7 réserves naturelles de la Grande Cariçaie

En marge de ces travaux, des phénomènes naturels agissent continuellement sur les espèces et les milieux naturels et sont susceptibles d'en faire varier la distribution géographique. Parmi ces phénomènes, les crues du lac de Neuchâtel apparaissent comme les plus spectaculaires et leurs effets sont peu documentés. Ces crues étant difficilement prévisibles, l'évaluation de leurs effets

reste délicate, l'AGC ne disposant pas toujours de données décrivant dans le détail l'état la flore et de la faune avant la montée des eaux, ni des disponibilités nécessaires à l'observation scientifique de leurs effets au-delà des pics de crue.

La crue du lac de Neuchâtel de juillet 2021, la plus spectaculaire depuis la 2ème Correction des Eaux du Jura (2ème CEJ, 1962-1973), offrait à l'AGC l'opportunité de mettre à l'épreuve sa capacité à évaluer les effets de ce phénomène exceptionnel (Figure 2). Le déclencheur de cette mise à l'épreuve a été l'observation, dans une lisière de la réserve naturelle de Cudrefin en juin 2022, de la présence de plusieurs centaines de tiges sèches d'Inule de Suisse (*Inula helvetica* Weber) et de l'absence totale de tiges de l'année pour une station pourtant connue pour abriter une colonie dense de l'espèce (Figure 3). Il semblait à priori possible que cette disparition soit la conséquence de l'inondation du site par la crue, l'altitude du site abritant la population disparue étant supposé plus bas que les niveaux d'eau atteints par la crue. Cette espèce est classée de priorité élevée par l'AGC selon les listes d'espèces prioritaires qu'elle a établies dans le cadre de l'actuelle mise à jour de son plan de gestion. L'AGC décida donc de mener, durant l'été 2022, une campagne de dénombrement de l'Inule de Suisse sur une sélection de stations dans le but d'évaluer l'effet de la crue sur les populations qu'elles abritent. Cette évaluation pouvait s'inscrire dans un contexte favorable, l'AGC disposant d'un jeu de données récoltées peu avant la crue et caractérisant l'importance des populations de cette espèce.

Figure 2 : Crue du lac de Neuchâtel en juillet 2021. À gauche : marais inondés dans la réserve naturelle de Cheyres. À droite : prairie à choin inondée dans la réserve naturelle des Grèves de la Motte.

Figure 3 : À gauche : l'Inule de Suisse (Inula helvetica Weber), une espèce de priorité élevée pour l'AGC. À droite : périmètre de la réserve naturelle de Cudrefin, en noir, et site abritant une station d'Inule de Suisse où seules des tiges sèches ont été observées en juin 2022, une année après la crue de juillet 2021

Ce rapport rend compte des résultats de cette évaluation. Il s'ajoute au rapport déjà rédigé en 2017 dans ce domaine d'évaluation pour la Violette des marécages (*Viola persicifolia* auct.) [2], autre espèce végétale de priorité élevée pour l'AGC.

2 L'INULE DE SUISSE (Inula helvetica Weber)

L'Inule de Suisse est un hémicryptophyte vivace appartenant à la famille des Astéracées. Elle mesure entre 0.5 et 1.5 m et développe, en fin d'été, de nombreux capitules jaunes d'environ 3 cm de diamètre. Ses feuilles, dentées et tomenteuses-grisâtres, dégagent une odeur caractéristique de mélisse au froissement (Figure 4).

Figure 4 : À gauche : une colonie d'Inules de Suisse dans la réserve naturelle de Cudrefin. Au milieu : les nombreux capitules (généralement plusieurs dizaines) portés par un pied de l'espèce. À droite : feuilles tomenteuses-grisâtres d'un jeune pied

2.1 ÉCOLOGIE

L'inule de Suisse affectionne les sols pauvres, humides et plutôt basiques, et colonise les ourlets buissonnant de la plaine.

2.2 DISTRIBUTION

Plante du sud-ouest européen, l'Inule de Suisse est essentiellement distribuée dans les régions alpiennes et pyrénéennes.

En Suisse, l'espèce trouve ses principales aires de distribution dans (Figure 5) :

- la région des lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat ;
- les plaines de l'Aar, en amont de son entrée dans le lac de Bienne ;
- les plaines inférieures des bassins de l'Aar, de la Limmat et de la Reuss, au nord-est du pays ;
- les plaines inférieures du Rhône (Chablais) et de la Veveyse, à l'est du bassin lémanique.

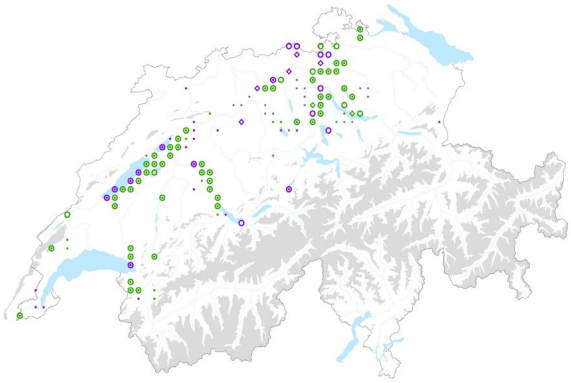

Figure 5 : Carte de la distribution nationale de l'Inule de Suisse (Source Infoflora)

2.3 PROTECTION

L'Inule de Suisse a été classée « Vulnérable » dans les listes rouges nationales successives de 2016 et 2019. Elle est inscrite comme espèce de priorité nationale élevée dans la liste des espèces prioritaires au niveau national publiée par l'OFEV en 2019, la Suisse portant une responsabilité internationale élevée pour sa conservation selon cette même liste [3].

2.4 L'INULE DE SUISSE DANS LE PÉRIMÈTRE STATUTAIRE DE L'AGC

L'Inule de Suisse a été considérée comme espèce patrimoniale de haute valeur dès les débuts de la gestion conservatoire des zones naturelles de la Grande Cariçaie, à l'aube des années 1980. Elle a été le sujet, à divers titres, de plusieurs suivis et monitorings dont certains résultats ont fait l'objet de publications [4] [5]. La carte de la Figure 6 présente la distribution de l'espèce dans le périmètre statutaire de l'AGC, sur la base de toutes les données brutes de ce taxon à disposition dans les bases de données de l'association, données couvrant la période 1963-2022. Dans ce périmètre, l'Inule de Suisse est présente en colonies souvent denses dans les prairies humides embroussaillées (*Molinion*, *Caricion davallianae*), en lisière de forêt alluviale. Elle affectionne aussi les ourlets thermophiles qui bordent les chemins sillonnant les réserves naturelles de la Grande Cariçaie. Ses principales colonies se situent à l'extrême nord-est du périmètre statutaire de l'AGC, essentiellement dans la partie vaudoise de la réserve naturelle des Grèves de la Motte.

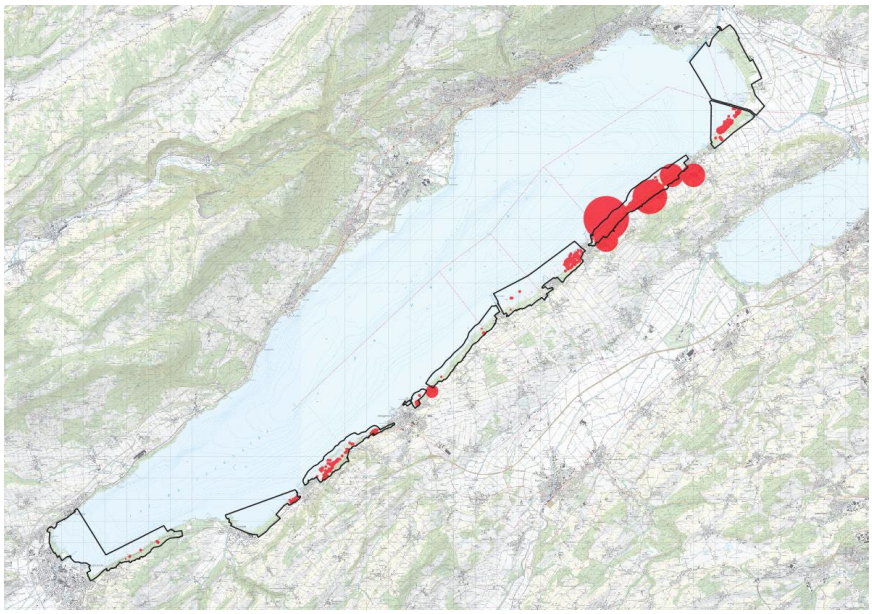

Figure 6 : En rouge : distribution des périmètres de présence d'Inule de Suisse (période 1963-2022) (! la taille des périmètres est sans rapport avec la taille des populations observées)
En noir : périmètre statutaire de l'AGC

L'AGC a porté l'Inule de Suisse au rang d'espèce prioritaire au niveau de son périmètre statutaire dans son plan de gestion actuellement en révision. Ce statut oblige les gestionnaires de ce périmètre à prêter une attention particulière à cette espèce, tant au niveau de sa connaissance (écologie, distribution, importance et évolution des populations) que de sa conservation. Le plan de gestion prévoit d'ailleurs à cet effet une action de connaissance spécifiquement dédiée aux espèces prioritaires dont l'association a la charge de leur conservation (Action « C-SP-VEP - Monitoring des espèces végétales prioritaires » du plan de gestion en révision).

Cette action, qui est l'un des 6 modules composant le programme de monitoring de la flore et de la végétation défini par l'AGC, consiste, par 2 prospections dans l'unité spatiale considérée (maille de 50 m x 50 m), à :

- dénombrer les populations des espèces prioritaires classées en priorité élevée par l'AGC au niveau de son périmètre statutaire ; ces dénombrements incluent toutes les émergences feuillées présentes de l'espèce, qu'elles soient fertiles ou stériles, et sont caractérisés par un code renvoyant à des classes de dénombrement logarithmiques (Tableau 1).
- relever, en présence/absence, les espèces classées en priorité faible par l'AGC au niveau de son périmètre statutaire.

Tableau 1 : Codes et classes de dénombrement des populations des espèces classées de priorité élevée par l'AGC

Code	Classe de dénombrement
1	1-9 émergences feuillées
2	10-99 émergences feuillées
3	100-999 émergences feuillées
4	1000-9999 émergences feuillées
5	10000-99999 émergences feuillées

Pour l'Inule de Suisse, cette action, conduite de 2014 à 2022 dans 5'453 mailles couvrant les marais non-boisés et environ un tiers du couvert forestier du périmètre statutaire de l'AGC, a permis de révéler sa présence dans 544 mailles (10 % des mailles prospectées) et de dénombrer ses populations dans 338 d'entre-elles (Figures 7 et 8).

Remarque : le décalage entre le nombre de mailles dans lesquelles la présence de l'espèce a été relevée (544) et celles dans lesquelles les populations ont été dénombrées provient du changement de statut de l'espèce au cours du monitoring. Suite à la mise à jour de la liste des espèces prioritaires au niveau national intervenue en 2017, l'AGC a fait passer l'espèce du statut d'espèce de priorité faible, soumise au simple relevé de sa présence, à celui d'espèce de priorité élevée, soumise à un dénombrement des populations. Certaines mailles avaient déjà subi les 2 prospections prévues selon le premier statut de l'espèce et les populations de l'espèce n'y ont pas été dénombrées alors que d'autres mailles ont pu profiter de ce changement et les populations de l'espèce ont pu y être dénombrées lors de la 2ème prospection.

Au total, les populations de l'espèce s'élèvent à plusieurs dizaines de milliers de pieds, conférant au périmètre statutaire de l'AGC le rang de « probable plus important foyer national » de l'espèce.

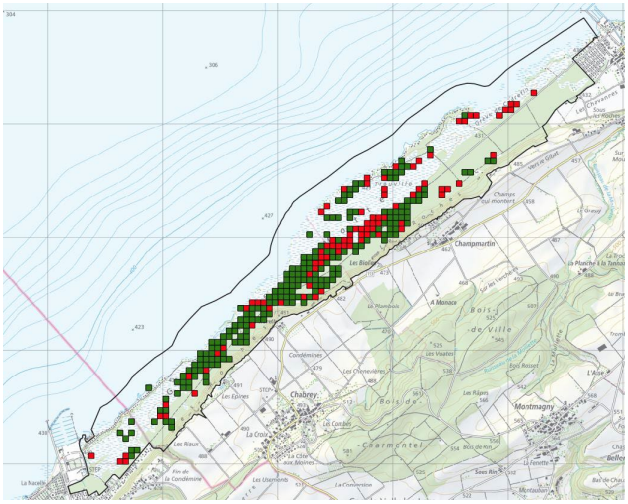

Figure 7 : Distribution de l'Inule de Suisse dans le périmètre statutaire de l'AGC avant la crue de juillet 2021 : exemple de la réserve des Grèves de la Motte. En rouge : mailles dans lesquelles seule la présence de l'espèce a été relevée. En vert : mailles dans lesquelles les populations de l'espèce ont été dénombrées

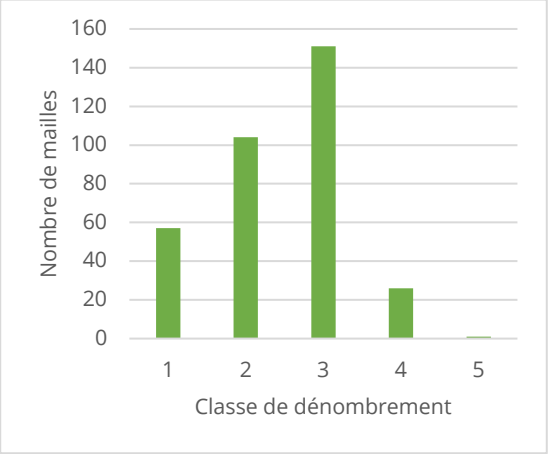

Figure 8 : Distribution, dans les classes de dénombrement, des 338 mailles dans lesquelles les populations d'Inule de Suisse ont été dénombrées avant la crue de juillet 2021

3 LA CRUE DE L'ÉTÉ 2021

En été 2021, le niveau du lac de Neuchâtel a atteint un niveau record jamais égalé depuis la 2ème Correction des Eaux du Jura (2ème CEJ, 1962-1973) (Figure 9). La crue débuta au début juillet, pour atteindre le niveau maximal de 430.712 m le 19 juillet. Le lac a ainsi vu son niveau monter de plus de 1 mètre en une semaine. La décrue a duré 3 semaines, s'achevant à la fin de la première semaine d'août.

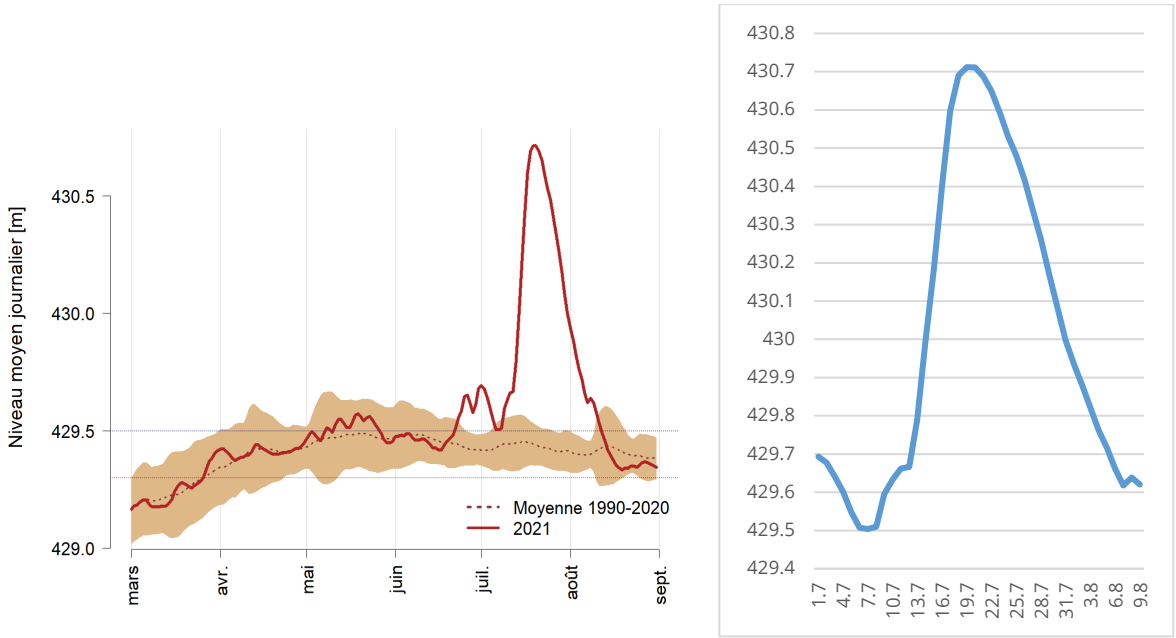

Figure 9 : Niveau du lac de Neuchâtel. À gauche : période mars - août 2021. À droite : période 1 juillet – 9 août 2021 (Source OFEV)

4 MÉTHODE D'ÉVALUATION DE L'EFFET DE LA CRUE DE JUILLET 2021 SUR LES POPULATIONS D'INULE DE SUISSE

L'évaluation de l'effet de la crue de juillet 2021 sur les populations d'Inule de Suisse a suivi les étapes méthodologiques suivantes :

- sélection des mailles servant à l'évaluation de l'effet de la crue sur l'Inule de Suisse (cf. 4.1) ;
- dénombrement, en 2022 soit une année après la crue, des populations de l'Inule de Suisse dans les mailles sélectionnées (cf. 4.2) ;
- caractérisation des mailles sélectionnées (altitude du sol ; durée de l'inondation, niveau de l'eau et hauteur de l'eau pendant la crue de l'été 2021) (cf. 4.3) ;
- analyse de la corrélation entre la variation des dénombrements de l'Inule de Suisse dans les mailles sélectionnées, avant et après la crue de juillet 2021, et la durée moyenne de l'inondation dans ces mailles pendant la crue (cf. 4.4).

4.1 SÉLECTION DES MAILLES

Les disponibilités limitées de l'AGC et la volonté de mettre en évidence l'effet de la crue sur les populations de plus haute valeur ont conduit à la sélection aléatoire de 19 mailles parmi celles abritant les populations les plus élevées dénombrées avant la crue de juillet 2021. Les Figures 10 et 11 présentent les distributions géographiques générale et de détail des mailles sélectionnées et le Tableau 2 présente les résultats des dénombrements réalisés dans ces mailles avant la crue selon la méthode décrite au paragraphe 2.4.

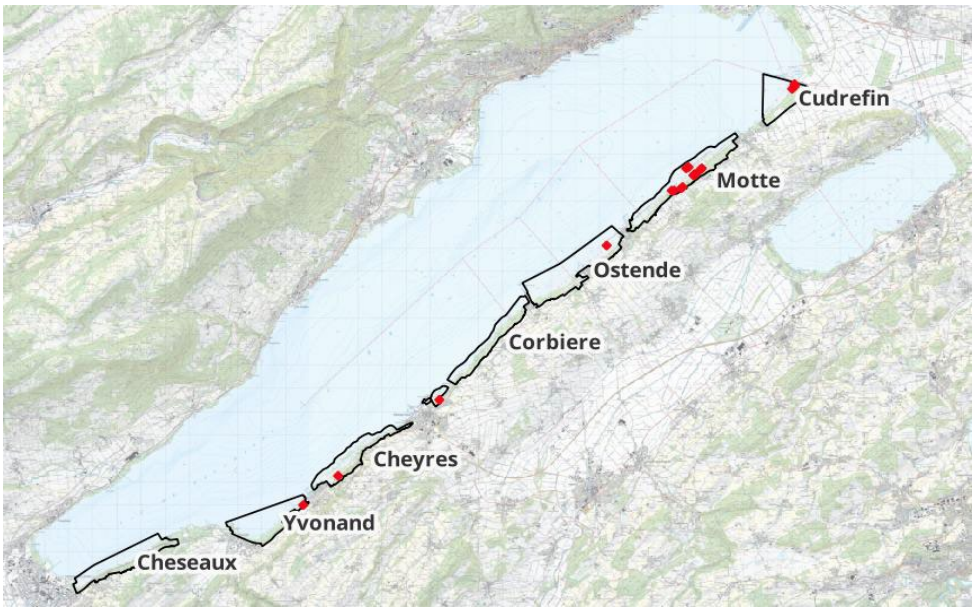

Figure 10 : Distribution des 19 mailles sélectionnées dans les réserves naturelles de la Grande Cariçaie

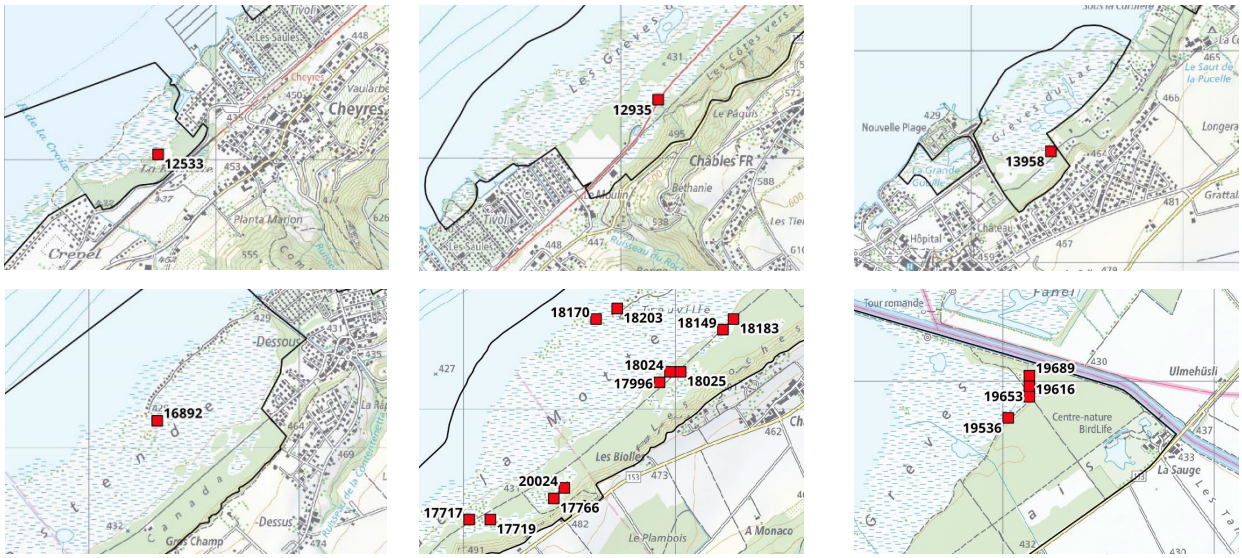

Figure 11 : Distribution des 19 mailles sélectionnées dans, de haut en bas et de gauche à droite, les réserves naturelles de la Baie d'Yvonand, de Cheyres, des Grèves de la Corbière, des Grèves d'Ostende, des Grèves de la Motte et de Cudrefin

Tableau 2 : Dénombrement des populations d'Inule de Suisse réalisés avant la crue de juillet 2021 pour les 19 mailles sélectionnées. Classe de dénombrement : 4 = 1000-9999 émergences feuillées ; 5 = 10000-99999 émergences feuillées

Maille no	Classe de dénombrement
12533	4
12935	4
13958	4
16892	4
17717	4
17719	4
17766	4

Maille no	Classe de dénombrement
17996	4
18149	4
18170	4
18183	4
18203	4
19536	4
19616	4

Maille no	Classe de dénombrement
19653	4
19689	4
20024	4
19689	5
20024	4

4.2 DÉNOMBREMENT DES POPULATIONS DE L'INULE DE SUISSE EN 2022

Les 19 mailles sélectionnées ont fait l'objet d'un dénombrement des populations d'Inule de Suisse en juin 2022, selon la méthode décrite au paragraphe 2.4.

4.3 CARACTÉRISATION DES MAILLES SÉLECTIONNÉES

Les 19 mailles sélectionnées ont fait l'objet d'une caractérisation selon 4 paramètres interdépendants.

4.3.1 Altitude du sol

L'altitude moyenne du sol de chacune des 19 mailles sélectionnées a été calculée à l'aide de l'outil « Statistiques de zone » de QGIS, en intersectant ces mailles et la couche raster des altitudes obtenues par la technologie LiDAR en 2016.

4.3.2 Durée d'inondation

À l'altitude moyenne du sol de chacune des 19 mailles sélectionnées a été associée la durée moyenne d'inondation de chacune de ces mailles pendant la crue (période du 1 juillet au 9 août 2021), à l'aide des données et prévisions hydrologiques fournies par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

4.3.3 Niveau de l'eau

À la durée moyenne d'inondation de chacune des 19 mailles sélectionnées a été associé le niveau moyen de l'eau dans chacune de ces mailles pendant la crue (période du 1 juillet au 9 août 2021), à l'aide des données et prévisions hydrologiques fournies par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

4.3.4 Hauteur de l'eau

La hauteur moyenne de l'eau pendant la crue (période du 1 juillet au 9 août 2021) a été calculée dans chacune des 19 mailles sélectionnées en soustrayant l'altitude moyenne du sol au niveau moyen de l'eau.

4.4 ANALYSES

Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel R [6].

4.4.1 Différences de classes de dénombrement et d'altitudes des mailles

Premièrement, un test de Wilcoxon (paired Wilcoxon test) a été effectué sur les classes de dénombrement pour tester si les médianes des classes étaient différentes avant et après la crue de juillet 2021.

Ensuite, afin de déceler une éventuelle différence d'altitude du sol entre les mailles ayant été affectées par la crue et les mailles peu affectées, celles-ci ont été réparties en deux groupes, en fonction de leur changement de classe de dénombrement avant et après la crue de juillet 2021 :

- groupe neutre (pas de changement de classe de dénombrement) ;
- groupe négatif (diminution de la classe de dénombrement).

Le troisième groupe théoriquement possible (augmentation de classe de dénombrement) n'est pas apparu au sein de l'échantillon. Un t-test a ensuite été effectué sur la moyenne des altitudes du sol calculée pour chacun des deux groupes.

4.4.2 Variables explicatives

Un modèle généralisé linéaire (avec distribution de Poisson) a été élaboré pour évaluer à titre indicatif (les assomptions du modèle linéaire étant loin d'être acceptables à partir de ce faible échantillon, et sur des classes de dénombrement si peu différenciées) les effets de différentes variables considérées sur les dénombrements après la crue de juillet 2021. La formule suivante a été utilisée : dénombrement ~ altitude moyenne de la maille + nbr de jours min d'inondation + nbr de jours max d'inondation + nbre moyen de jours d'inondation + moyenne de la hauteur d'eau.

5 RÉSULTATS

Le Tableau 3 présente l'ensemble des résultats obtenus pour les 19 mailles sélectionnées. Aucune maille n'a vu sa classe de dénombrement augmenter, alors que les dénombrements de 6 mailles n'ont pas varié et que 13 mailles ont vu leur dénombrement diminuer, voire être réduit à zéro pour 7 d'entre-elles (Figure 12). Ces variations se traduisent par la perte de plusieurs milliers de pieds d'Inule de Suisse. L'analyse de ces variations montre que les classes de dénombrement sont significativement différentes avant et après l'épisode de crue (Wilcoxon paired-ranked test, $V = 91$, $p < 0.001$).

Les mailles dont les dénombrements n'ont pas varié n'ont pas subi d'inondation pendant la crue de juillet 2021 et sont caractérisées par une altitude moyenne de leur sol supérieure ou égale à 431.04 m (altitude de la maille no 18025), soit 0.33 m au-dessus du niveau de la pointe de crue fixée à 430.712 m (cf. Paragraphe 3). Les mailles dont les dénombrements ont diminué ont subi une inondation pendant la crue de juillet 2021 et sont caractérisées par une altitude moyenne de leur sol inférieure ou égale à 430.46 m (altitude de la maille no 13958), soit 0.25 m au-dessous du

niveau de la pointe de crue. Leur hauteur moyenne de l'eau oscille entre 0.17 m et 0.55 m (Figure 13). Les analyses réalisées montrent que la moyenne de la hauteur de l'eau est significativement et négativement corrélée avec les différences de classes de dénombrements relevées après la crue de juillet 2021 (cor = -0.95, t = -12.2, df = 17, $p < 0.001$). L'altitude moyenne du sol de la maille, forcément reliée à la moyenne de la hauteur de l'eau, est positivement corrélée aves les différences de classes de dénombrement (cor = -0.85, t = 7.72, df = 17, $p < 0.001$).

Tableau 3 : Caractérisation des mailles et dénombrement des populations d'Inule de Suisse avant et après la crue pour les 19 mailles sélectionnées

	Caractérisation des mailles sélectionnées				**Classe de dénombrement des populations d'Inule de Suisse**		
Maille no	**Altitude moyenne du sol [m]**	**Durée moyenne de l'inondation [nbre de jours]**	**Niveau moyen de l'eau [m]**	**Hauteur moyenne de l'eau [m]**	**Avant la crue de juillet 2021**	**En 2022, une année après la crue de juillet 2021**	**Différence**
12533	430.23	13	430.54	0.31	4	2	-2
12935	432.06	0	-	0.00	4	4	0
13958	430.46	9	430.63	0.17	4	2	-2
16892	429.90	19	430.39	0.49	4	0	-4
17717	430.95	0	-	0.00	4	4	0
17719	431.55	0	-	0.00	4	4	0
17766	432.09	0	-	0.00	4	4	0
17996	430.44	9	430.63	0.19	4	2	-2
18024	430.37	11	430.59	0.22	4	3	-1
18025	431.04	0	-	0.00	4	4	0
18149	430.15	15	430.50	0.35	4	2	-2
18170	429.74	23	430.29	0.55	4	0	-4
18183	430.30	12	430.57	0.27	4	3	-1
18203	429.83	20	430.37	0.54	4	0	-4
19536	429.91	19	430.39	0.48	4	0	-4
19616	429.92	19	430.39	0.47	4	0	-4
19653	429.85	20	430.37	0.52	4	0	-4
19689	429.95	18	430.42	0.47	5	0	-5
20024	432.02	0	-	0.00	4	4	0

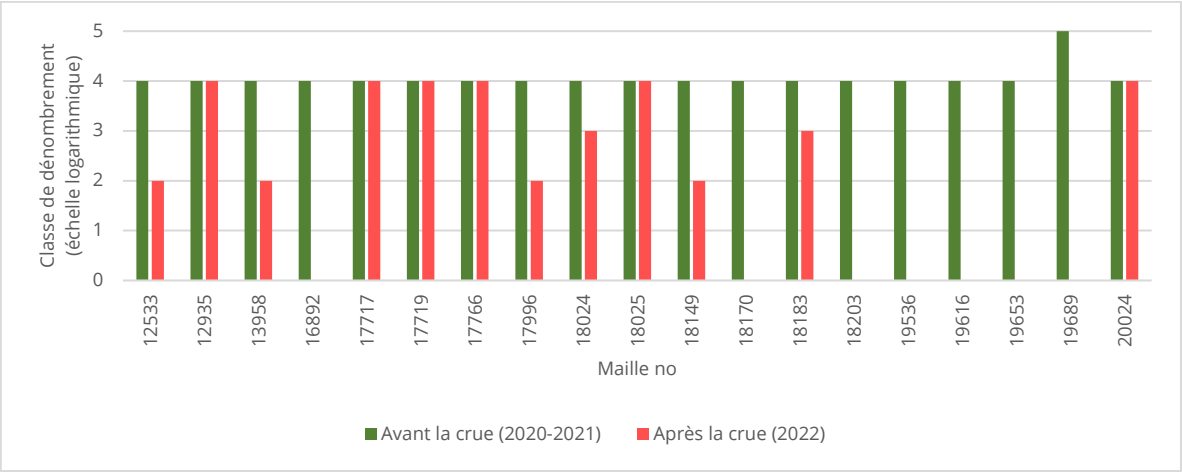

Figure 12 : Dénombrement des populations d'Inule de Suisse avant et après la crue de l'été 2021 pour les 19 mailles sélectionnées

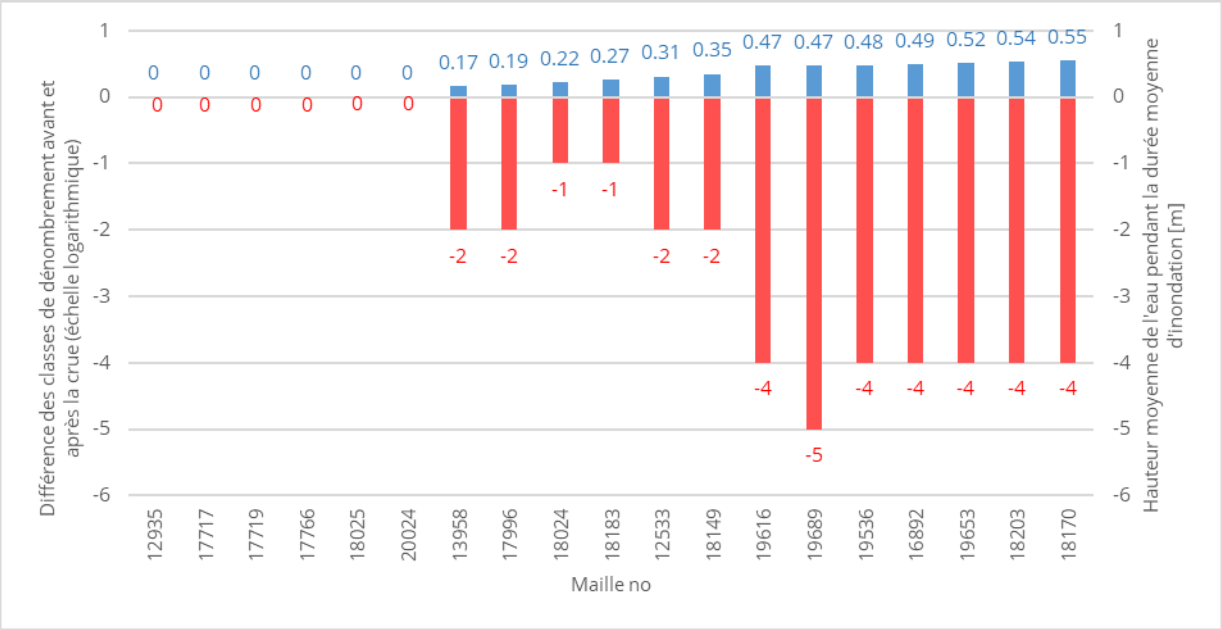

Figure 13 : Variation des populations d'Inule de Suisse et hauteur moyenne de l'eau pendant la crue de l'été 2021 pour les 19 mailles sélectionnées

La comparaison des altitudes moyenne des mailles en fonction des deux groupes définis (groupe « Neutre » et groupe « Négatif ») montre aussi une différence significative (t-test, $t(6.12) = -6.86$, $n = 19$, $p < 0.001$). La moyenne du groupe « Neutre » (431.6 ± 0.5 m) se situe 1.5 m plus haute que la moyenne du groupe « Négatif » (430.1 ± 0.3 m) (Figure 14).

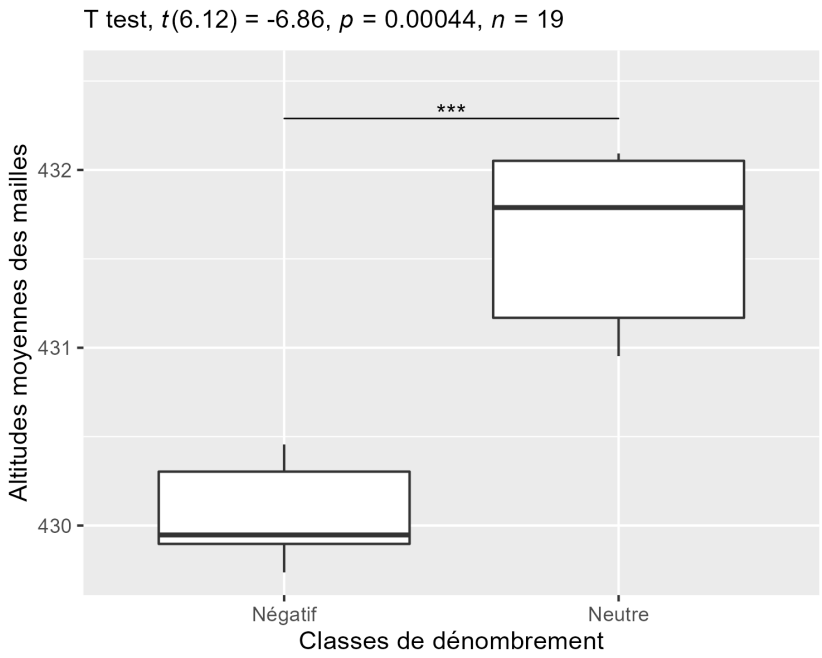

Figure 14 : Résultats du t-test réalisé sur la moyenne des altitudes du sol calculée pour chacun des deux groupes de mailles. Groupe de mailles « Négatif » : mailles qui ont vu leur classe de dénombrement diminuer avant et après la crue de juillet 2021. Groupe de mailles « Neutre» : mailles qui ont vu leur classe de dénombrement inchangé avant et après la crue de juillet 2021

Enfin, les résultats du modèle linéaire exploratoire ont permis de mettre en évidence une variable qui semble plus déterminante que les autres sur les classes de dénombrement : la hauteur d'eau moyenne (glm, $p < 0.1$). Aucune autre variable considérée dans le modèle n'a eu d'influence significative sur les classes de dénombrement (Annexe 1, Tableau 4).

6 DISCUSSION

L'analyse de l'effet de la crue exceptionnelle de juillet 2021 sur l'Inule de Suisse montre une différence significative de variation des populations suivant l'altitude moyenne du sol des mailles qui les abritent. Les mailles dont l'altitude moyenne du sol est supérieure au pic de la crue, soit celles qui n'ont pas été inondées par celle-ci, n'ont pas vu leur classe de dénombrement varier, alors que celles dont l'altitude moyenne du sol est inférieure au pic de crue, soit celles qui ont été inondées par cette crue selon des hauteurs moyennes d'eau variables, ont vu leur classe de dénombrement diminuer significativement.

Les diminutions de population constatées résultent probablement de l'asphyxie d'une large proportion des parties aériennes des individus, les tiges d'Inule de Suisse ne présentant au tout début de juillet, période du début de la crue de 2021, que des tiges dont la hauteur n'excède pas quelques dizaines de centimètres.

Plusieurs remarques, susceptibles de limiter la significativité des résultats d'analyse obtenus, peuvent être émises :

- les disponibilités de l'AGC ont conduit à restreindre fortement l'échantillon de mailles qui a fait l'objet de l'évaluation (19 mailles parmi les 344 mailles dénombrées, soit 6 % de mailles évaluées) ;

- la volonté d'évaluer l'effet de la crue sur les mailles les plus « précieuses » pour l'AGC a orienté la sélection des mailles, en ne retenant qu'un échantillon de celles présentant les dénombrements les plus élevés avant la crue ;
- la caractérisation des mailles évaluées repose sur des moyennes établies à l'échelle de la surface de chacune des mailles, sans garantie que ces moyennes soient représentatives des surfaces réellement occupées par l'Inule de Suisse au sein de la maille ;
- les moyennes, pendant la crue, de la durée d'inondation, du niveau de l'eau et de la hauteur de l'eau pour chacune des mailles ont été calculées sur la base des valeurs du niveau du lac de Neuchâtel fournies par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) ; la situation particulière de chacune des mailles ne garantit cependant pas que leur inondation par la crue, mais aussi leur exondation par la décrue, suivent parfaitement les variations du niveau du lac (des effets de poldérisation associés au degré de perméabilité du substrat peuvent ralentir la montée et le retrait des eaux et faire fluctuer leur hauteur) ;
- il est possible, en regard de la taille de la classe de dénombrement qui caractérise les mailles qui n'ont pas vu leur classe de dénombrement varier (Code : 4 – Classe de dénombrement: 1000-9999 émergences feuillées), que ces populations ont malgré tout diminué, ce qui relativiserait le rôle imputé à la crue par l'analyse ;
- il est aussi possible que les diminutions de population constatées ne soient qu'un déclin passager et qu'une restauration de ces populations puisse se faire, au-delà de l'année du constat de ce déclin (2022), à partir de leurs tapis de rhizomes.

Si certaines des limitations exprimées ne peuvent être levées, d'autres (faiblesse de l'échantillon, échantillon limité aux classes de dénombrement les plus élevées) pourraient être atténuées au travers d'un complément de données à acquérir qui viendrait confirmer les résultats obtenus par l'évaluation présentée dans ce rapport. Les mailles qui n'ont pas fait l'objet de dénombrement en 2022 pourraient être classées en classes d'altitude moyenne de leur sol, classes bornées par les altitudes caractéristiques mises en évidence par les analyses réalisées. Trois classes de mailles, au sein de chacune desquelles un échantillon représentatif de mailles serait sélectionné, peuvent être définies :

- mailles dont l'altitude moyenne de leur sol est supérieure ou égale à 431.04 m, altitude au-dessus de laquelle aucune maille de l'échantillon utilisé pour l'évaluation n'a présenté de diminution de leur dénombrement ;
- mailles dont l'altitude moyenne de leur sol est inférieure à 431.04 m et supérieure à 430.46 m, gamme d'altitude qui n'était pas représentée dans l'échantillon utilisé pour l'évaluation ;
- mailles dont l'altitude moyenne de leur sol est inférieure ou égale à 430.46 m, altitude au-dessous de laquelle toutes les mailles de l'échantillon utilisé pour l'évaluation ont présenté une diminution de leur dénombrement .

7 CONCLUSION

L'évaluation réalisée montre un effet significatif de la crue de juillet 2021 sur les populations d'Inule de Suisse, espèce de priorité élevée au niveau du périmètre statutaire de l'AGC. Celles ayant subi une inondation par la crue ont vu leur population diminuer, les plus fortes diminutions étant observées pour les populations ayant été inondées par les plus importantes hauteurs d'eau.

Ce premier constat mériterait d'être confirmé par une prise de données complémentaire, la représentativité de l'échantillon utilisé pour l'évaluation dont les résultats sont présentés dans ce rapport étant limitée. Cette prise de données complémentaire permettrait de valider les résultats déjà obtenus, mais aussi de vérifier la permanence de l'effet constaté pour la crue de juillet 2021.

Plus généralement, si les résultats déjà obtenus devaient être confirmés par les compléments souhaités, ceux-ci interrogeraient l'AGC quant aux souhaits que pourraient émettre l'association en matière de régulation du niveau du lac de Neuchâtel. Cette régulation est actuellement soumise au règlement de régulation des 3 lacs du pied du Jura (Neuchâtel, Bienne et Morat) [7]. Ce règlement avait fait l'objet d'une étude de ses effets sur la végétation et les milieux naturels de la Grande Cariçaie, dont le rapport final a été publié en 1995 [8], sans que cette étude n'entraîne une quelconque modification du règlement de régulation en vigueur. Depuis cette date, l'AGC a eu l'occasion d'échanger sur ce thème avec la Commission intercantonale de surveillance de la 2ème Correction des eaux du Jura, en charge de la surveillance de l'application du règlement, lors d'une rencontre que l'association a mise sur pied le 9 novembre 2018.

Des modifications de cette régulation pourraient viser la restitution, au moins partielle, d'un régime des eaux du lac comparable à celui qui prévalait avant la 2ème Correction des eaux du Jura (2ème CEJ, 1962-1973), restitution qui pourrait se révéler favorable aux objectifs conservatoires que poursuit l'AGC. Dans ce sens, l'observation scientifique des effets des crues à venir doit permettre aux gestionnaires de mettre à l'épreuve les avantages qu'ils supposent pouvoir retirer de fluctuations plus importantes du niveau du lac. L'évaluation de l'effet des crues sur des phénomènes tels que l'embroussaillement des marais ou encore l'érosion des surfaces terrestres ne pourra cependant se faire qu'au travers de l'observation de nombreuses crues intervenant sur le « temps long ». Par contre, et de manière plus ponctuelle, la seule crue de juillet 2021 a permis d'évaluer ses effets sur une espèce, révélant toutes les précautions que l'AGC devra prendre si elle devait participer à l'arbitrage d'une modification du règlement de régulation du lac de Neuchâtel. Il semble en effet difficile d'imaginer, à la vue des résultats obtenus pour l'Inule de Suisse mais aussi ceux obtenus pour la Violette des marécages, qu'une modification du règlement visant à favoriser les crues puisse à la fois servir la conservation complète des valeurs naturelles existantes et la restauration de celles disparues depuis l'entrée en vigueur de ce règlement.

Association de la Grande Cariçaie

Christian Clerc

Collaborateur scientifique

BIBLIOGRAPHIE

[1] https://grande-caricaie.ch/wp-content/uploads/2018/12/AssocGC-statuts.pdf

[2] Clerc, C. (2017) : *La Violette des marécages (Viola persicifolia auct.) dans les réserves naturelles de la Grande Cariçaie - Petite synthèse des résultats d'inventaire et de suivi des stations du taxon pour la période 2005-2016.*

[3] https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/biodiversite/publications/publications-biodiversite/liste-especes-prioritaires-nationales.html

[4] https://grande-caricaie.ch/data/biblio_web_export_citavi/files/Fernex_2008_Inula_helvetica_Weber_dans.pdf

[5] https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=bhl-002:1996:106::306

[6] (R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

[7] file:///C:/Users/CC/Downloads/Regulation_des_lacs_du_pied_du_jura.pdf

[8] https://grande-caricaie.ch/data/biblio_web_export_citavi/files/Buttler_Cornali_et_al_1995_Etude_des_eff.pdf

Annexe 1

Tableau 4 : Résultats du glm effectué sur les dénombrements après crue

	Estimate	Erreur standard	z value	p-value
Intercept	-0.03635861	0.35290118	-0.10302773	0.91794096
scale(altitude_moyenne_maille)	-0.05307884	0.34086107	-0.15571988	0.87625383
scale(`nb_jours_min_inondation_(mean+stdev)`)	0.80527729	1.97305728	0.4081368	0.68317324
scale(`nb_jours_max_inondation_(mean-stdev)`)	-0.81134467	3.28076838	-0.24730325	0.80467355
scale(`Moyenne_hauteur.d'eau`)	-7.67218966	3.44499023	-2.22705702	0.02594346
scale(Moyenne_nbre_jours_inondation)	6.26386405	4.73222621	1.32366116	0.1856156