

RAPPORT



Projet LIFE Natur'Adapt

Récit climatique de la RNN de la Petite
Camargue Alsacienne

Auteurs

SCHLOESSER Daphné

Citation de l'ouvrage

SCHLOESSER Daphné et MERCKLING Léa, 2020 - Projet LIFE Natur'Adapt : Analyse des vulnérabilités et analyse prospective de la Réserve Naturelle Nationale de la Petite Camargue Alsacienne face au changement climatique, 46 p.

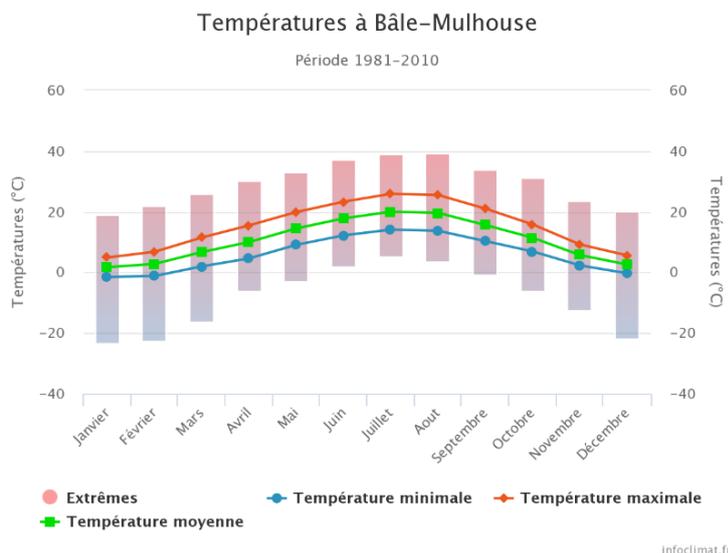
Table des matières

NORMALES CLIMATIQUES (1981-2010)	3
EVOLUTIONS RECENTES DU CLIMAT	6
HYDROGRAPHIE ET IMPACTS DU CLIMAT	8
Le Rhin.....	8
L'Augraben	9
La nappe phréatique	10
CLIMAT FUTUR	11
Phénomènes climatiques	11
Hydrographie	15
Synthèse détaillée des données climatiques futures.....	18
GLOSSAIRE.....	19
BIBLIOGRAPHIE.....	20

NORMALES CLIMATIQUES (1981-2010)

Le climat alsacien est océanique à tendance continentale, voire semi-continentale, avec des phénomènes d'abri liés aux Vosges à l'ouest et à la Forêt Noire à l'est. L'Alsace est marquée par trois types de sous-climats différents : montagnoux sur le pourtour des Vosges, doux dans l'Alsace bossue et la trouée de Belfort et sec dans la plaine. Le site de la Petite Camargue Alsacienne se situe en périphérie sud du microclimat sec de Colmar.

La réserve ne dispose pas de sa propre station météorologique. La station utilisée est celle de l'aéroport de Bâle-Mulhouse. Elle est située à moins de 2 km du cœur du site et à 263 mètres d'altitude sur la basse terrasse de la plaine alluviale. Le cœur de la réserve est en contrebas de la basse terrasse, son point le plus haut étant à 244 mètres d'altitude. Les archives de la station débutent en 1973. Les données et graphiques utilisés pour présenter les normales climatiques (**période 1981-2010**) sont issus du site InfoClimat.fr (InfoClimat 2020) qui récupère les données de MétéoFrance.



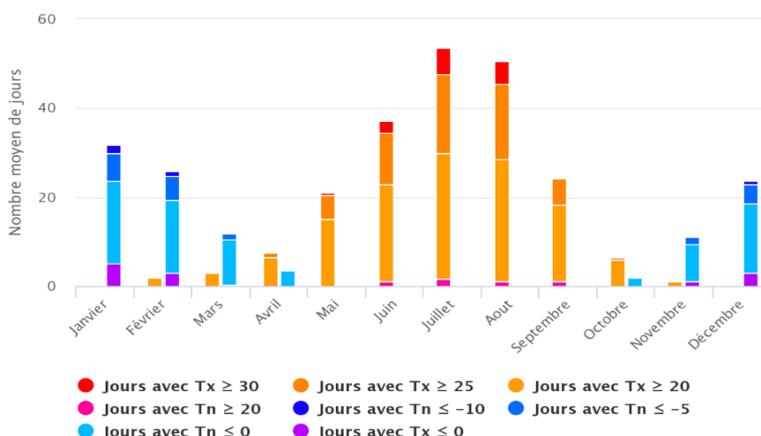
Graphique 1 : Températures minimales, maximales moyennes et extrêmes à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1981-2010 (Infoclimat.fr)

Sur la période 1981-2010, la température moyenne annuelle était de **10,7°C**. La température maximale moyenne est de **15,4°C** et la température minimale moyenne de **6,0°C**, avec des variations au cours de l'année (**Graphique 1**). La température maximale enregistrée est de **39,1°C** le 13 août 2003 et la température minimale de **-23,5°C** le 6 janvier 1985.

Concernant l'occurrence des phénomènes de température, la température maximale dépasse les 20°C **128,1 jours/an** entre février et novembre, les 25°C (phénomène de jours d'été) **59 jours/an** entre avril et octobre et les 30°C **14,9 jours/an** (phénomène de fortes chaleurs) entre mai et août. Le phénomène de nuits tropicales (température minimum > 20°C) a lieu **4,7 jours/an** entre juin et septembre (**Graphique 2**).

Les jours de gel (Tmin < 0°C) ont lieu **74,5 jours/an** entre octobre et avril. La température est inférieure à -5°C **19,4 jours/an** entre novembre et mars et à -10°C **4,1 jours/an** entre décembre et février. Les jours sans dégel (Tmax < 0°C) ont lieu **12,2 jours/an** entre novembre et février (**Graphique 2**).

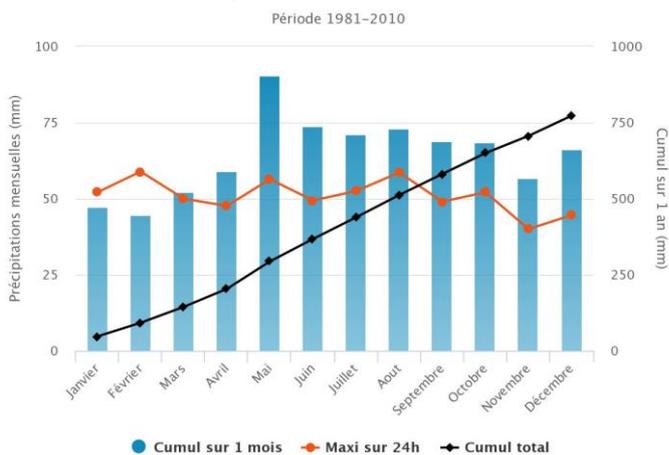
Phénomènes (températures) sur la période 1981-2010 à Bâle-Mulhouse



infoclimat.fr

Graphique 2 : Répartition moyenne en nombre de jours des phénomènes de température à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1981-2010 (Tx = température maximale, Tn = température minimale) (Infoclimat.fr)

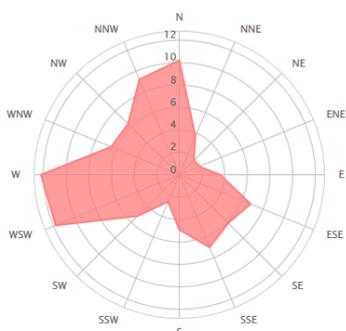
Précipitations à Bâle-Mulhouse



infoclimat.fr

Graphique 3 : Cumuls mensuels, cumuls maximums sur 24h et cumul total des précipitations à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1981-2010 (InfoClimat.fr)

Le cumul annuel des précipitations est en moyenne de **772,8 mm**. Le nombre de jours de pluie (hauteur d'eau > 1 mm) est relativement stable sur l'année, en moyenne **8 à 12 jours/mois**. Le printemps et l'été présentent les cumuls mensuels les plus importants, notamment le mois de mai avec 90 mm. Cela s'explique par les phénomènes orageux : **33,3 jours/an d'orage**, dont 26,3 jours entre mai et août. L'hiver est la saison la plus sèche, les cumuls sont inférieurs à 50 mm pour janvier et février (**Graphique 3**). Les précipitations sous forme de neige ont lieu **29,9 jours/an** entre octobre et avril.



Graphique 4 : Distribution de la direction des vents en % à la station météorologique de Bâle-Mulhouse (Windfinder)

Les vents viennent principalement de l'ouest et du nord, plus occasionnellement du sud-est (**Graphique 4**) (Windfinder n.d.). Les rafales maximales montent jusqu'à 130 km/h mais sont peu fréquentes. Les vents ne dépassent les 100 km/h qu'une journée dans l'année en moyenne. De manière générale, le site est peu venteux avec des vents à plus de 57 km/h de **3 à 5 jours/mois** entre décembre et mars et de **1 à 3 jours/mois** entre avril et octobre.

De par les massifs montagneux et les vents assez réduits, le site compte en moyenne **45,1 jours/an** de brouillard, principalement entre septembre et février.

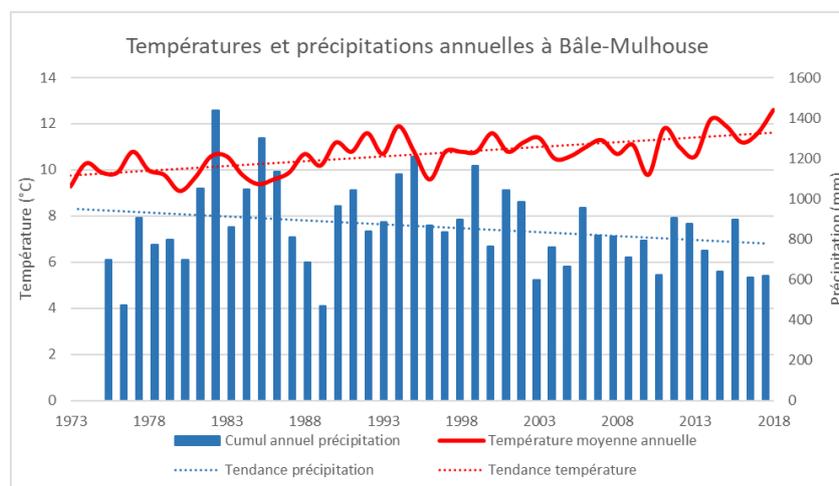
Actuellement, les évènements extrêmes climatiques touchant le plus régulièrement le secteur de la Petite Camargue sont les canicules et les sécheresses durant la période estivale, ainsi que les pluies torrentielles pouvant causer des crues, des inondations et des coulées de boue. On peut aussi noter les gelées précoces et tardives, ainsi qu'en moyenne un à deux évènements de tempête durant l'hiver.

En lien avec l'alternance des sécheresses et des périodes humides, des retraits-gonflements d'argile peuvent aussi être observés dans le secteur.

EVOLUTIONS RECENTES DU CLIMAT

Les évolutions récentes se font sur la base de l'historique des données de la station météorologique de Bâle-Mulhouse entre 1973 et 2018. Elles sont calculées à partir de la tendance d'évolution des paramètres climatiques.

Les années sont contrastées mais les tendances montrent une augmentation de la température moyenne annuelle de **+2,2°C** et une baisse du cumul annuel des précipitations de **-170 mm** entre 1973 et 2018 (**Graphique 6**). L'évolution des précipitations à Bâle-Mulhouse diffère de celle observée au niveau du département, à savoir une augmentation du cumul annuel depuis 1959.



Graphique 5 : Evolution de la température moyenne annuelle et du cumul annuel des précipitations à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1973-2018

Les tendances montrent une augmentation des jours de chaleur entre 1973 et 2018 : **+27 jours** d'été et **+15 jours** de fortes chaleurs. Le phénomène de nuit tropicale est également en progression avec **+2 jours**. La tendance est inverse pour les jours de froid : **-16,3 jours** de gelées et **-6,7 jours** de fortes gelées. Idem pour les jours sans dégel en réduction de **-7,4 jours** (**Tableau 2**).

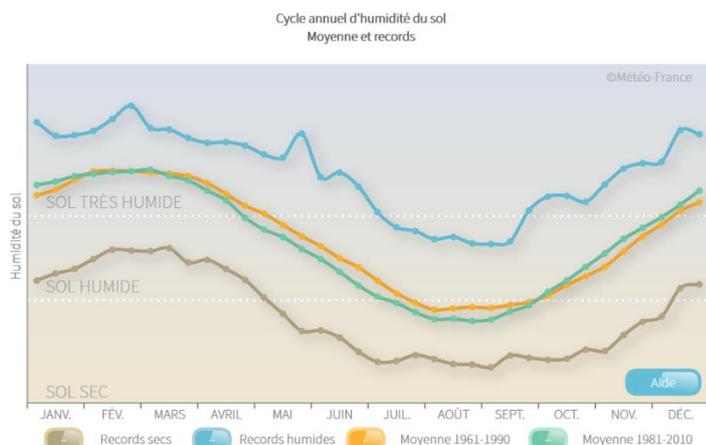
Tableau 1 : Evolution du nombre de jours des phénomènes de température à la station météorologique de Bâle-Mulhouse entre 1973 et 2018 (Tx = température maximale, Tn = température minimale)

Phénomènes de température	Forte chaleur Tx > 30°C	Jour d'été Tx > 25°C	Tx > 20°C	Nuit tropicale Tn > 20°C	Gelée Tn < 0°C	Forte gelée Tn < -5°C	Tn < -10°C	Jour sans dégel Tx < 0°C
Nbr de jours	+ 15,4	+ 27,4	+ 36,0	+ 2,0	- 16,3	- 6,7	- 1,0	- 7,4

Les journées orageuses et les jours de fortes précipitations (hauteur d'eau > 10 mm) sont en légère augmentation. En revanche le nombre de journées de brouillard a fortement chuté : **-71 jours** depuis 1973. Les vents de forte intensité, supérieurs à 100 km/h, ne semblent pas plus fréquents, en revanche il y a une vingtaine de jours supplémentaires de vents de moyenne intensité (**Tableau 3**).

Tableau 2 : Evolution du nombre de jours de divers phénomènes à la station météorologique de Bâle-Mulhouse entre 1973 et 2018

Phénomène	Forte précipitation (cumul > 10 mm)	Orage	Brouillard	Neige	Vent > 57,6 km/h	Vent > 100,8 km/h
Nbr de jours	+ 4,5	+ 1,9	- 71,0	- 0,9	+ 20,2	+ 0,6



Graphique 6 : Moyennes et records d'humidité des sols au cours de l'année en Alsace (ClimatHD)

Entre la période 1961-1990 et 1981-2010, un assèchement faible de +2% au printemps et en été est observé. L'assèchement durant la période hivernale ne semble pas avoir évolué (MétéoFrance n.d.) (Graphique 6).

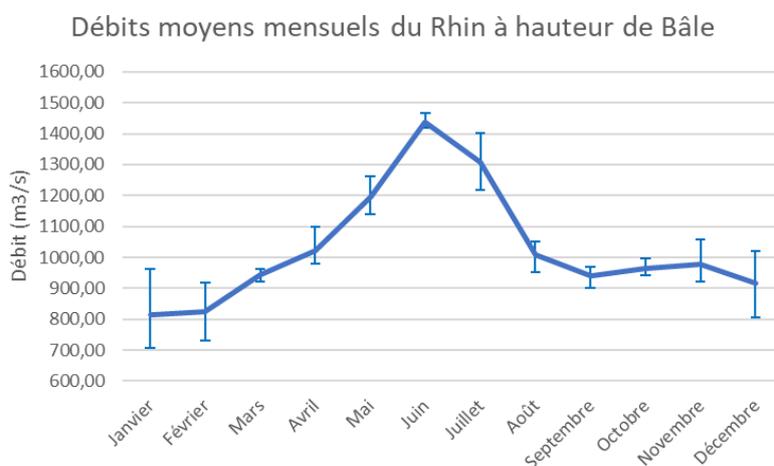
La moyenne du pourcentage de surfaces touchées par la sécheresse est à la hausse ces dernières années. Le phénomène semble aussi devenir plus fréquent, il n'y a eu que quatre années sans sécheresse depuis 1990.

Les vagues de chaleurs et canicules sont également à la hausse ces dernières années. Pour les autres événements extrêmes (pluies torrentielles, gelées tardives et précoces, tempêtes), les données disponibles ne permettent pas de dégager une évolution précise de leur fréquence.

HYDROGRAPHIE ET IMPACTS DU CLIMAT

Le Rhin

Le Rhin prend sa source dans les Alpes Suisses où il est alimenté par la fonte des neiges et des glaciers. A hauteur de Bâle, c'est un fleuve à régime nivo-glaciaire : les débits sont plus importants au printemps et en été, les débits mensuels allant de 1000 à 1400 m³/s en raison des fontes. Les débits vont ensuite progressivement baisser jusqu'à atteindre des minimums en hiver avec une moyenne de 800 m³/s en janvier/février (**Graphique 7**). Les crues ont généralement lieu à la fin du printemps et en début d'été lorsqu'il y a une fonte massive du stock de neige. Néanmoins d'autres crues peuvent être observées le reste de l'année lorsque des événements pluvieux intenses ont lieu en Suisse.



Graphique 7 : Débits moyens mensuels (m³/s) du Rhin à hauteur de Bâle sur la période 1980-2010 (source des données : SMHI-Hypeweb)

Une modification des débits moyens du Rhin est déjà observée depuis le début du siècle dernier. La tendance montre une légère baisse des débits moyens et des débits d'étiage durant l'été hydrologique et une hausse de ces débits durant l'hiver hydrologique (**Tableau 4**) (CIPR 2011).

Tableau 3 : Variations des débits du Rhin au niveau de Bâle en m³/s (MQ = débit moyen, NM7Q = plus faible débit moyen sur 7 jours par semestre, MHQ = débit journalier moyen le plus élevé sur l'année hydrologique, été hydrologique = mai à octobre, hiver hydrologique = novembre à avril) (Sources : CIPR).

	Été hydrologique		Hiver hydrologique		MHQ
	MQ	NM7Q	MQ	NM7Q	
1901 – 1930	1312	688	797	451	2492
1971 – 2000	1218	648	910	542	2734
Changement	-7,2 %	-5,8 %	+ 14,1 %	+ 20,4 %	+ 9,7 %

A hauteur de l'île du Rhin, le fleuve se sépare en deux : d'un côté le Grand Canal d'Alsace et de l'autre le Vieux Rhin partiellement classé en réserve naturelle. Les débits envoyés sur le Vieux Rhin sont gérés artificiellement par un barrage, initialement il n'était utilisé que comme exutoire en période de crue. Depuis 2010 les débits injectés dans le Vieux Rhin sont calculés selon le débit arrivant en amont, avec des valeurs

plancher et plafond, de manière à maintenir suffisamment d'eau pour rétablir les écosystèmes rhénans typiques. Les débits sont fixes à 52 m³/s de novembre à mars et varient le reste de l'année : entre 54 et 80 m³/s en mars-avril et septembre-octobre et entre 95 et 150 m³/s de juin à août. Il sert toujours d'exutoire en cas de crue, le Grand Canal ne pouvant supporter que 1400 m³/s au maximum.

La température du Vieux Rhin a été mesurée mensuellement entre 2009 et 2017 à hauteur de Kembs. Sur cette période, la température moyenne est de 13,2°C avec des minimums en janvier aux alentours de 5°C et des maximums en fin d'été approchant les 25°C. Une tendance à la hausse des températures est déjà observée, l'augmentation moyenne est de +2,5°C entre 2009 et 2017.

Sur l'île du Rhin, le cours d'eau du Petit Rhin a été recréé sur la base d'une ancienne cartographie. Il traverse la zone renaturée avant qu'une partie du débit soit renvoyée dans le Vieux Rhin. Le débit restant continue son chemin pour réalimenter en eau la forêt alluviale qui a évolué vers des bois durs à cause de la rupture de la dynamique naturelle des crues. Le Petit Rhin est alimenté par un débit fixe de 7m³/s et est considéré comme une annexe du Vieux Rhin.

L'Augraben

L'Augraben est issu de ressurgences phréatiques, de la collecte des eaux du Liesbach et de celles du Lertzbach qui prend sa source à Hagenthal-le-Haut et traverse la ville de Saint-Louis. L'Augraben passe par la Petite Camargue Alsacienne avant de se jeter dans le Rhin (**Figure 6**). Il est aussi alimenté par les pluies et les ruissellements, notamment par la présence de bassins d'orage qui débouchent dans son lit ou dans ceux de ses affluents, ce qui en fait le point noir de la réserve au niveau de la qualité des eaux. Les débits sont très variables en fonction des années et des saisons, le débit moyen mensuel est de 0,1 m³/s sur la période 1993-2018. Selon les événements pluvieux, les débits moyens mensuels peuvent monter à 0,3-0,5 m³/s. En période de sécheresse, les débits moyens s'abaissent à moins de 0,05 m³/s avec un minimum enregistré à 0,02 m³/s.

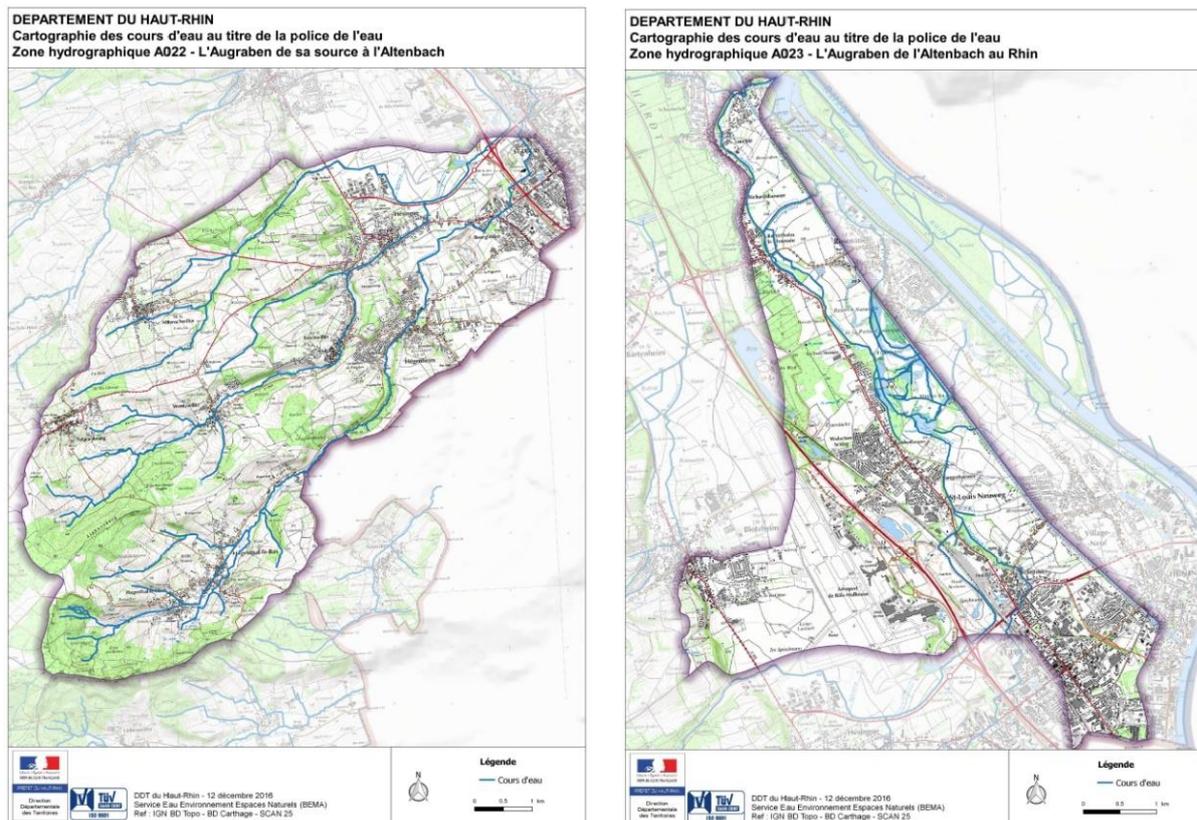
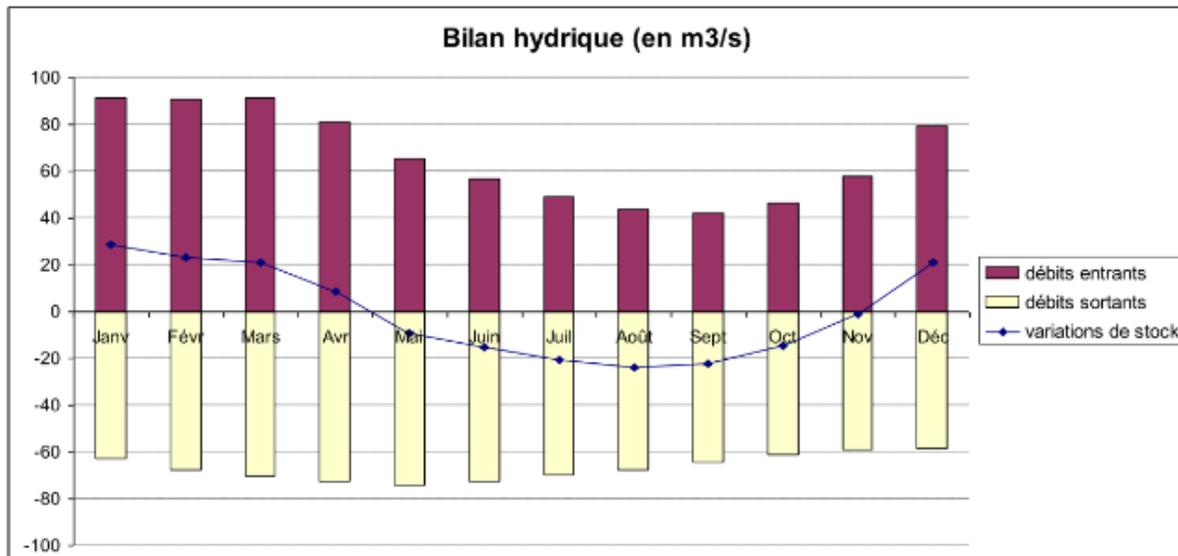


Figure 1 : Cartographie des affluents de l'Augraben (zone hydrographique A022) jusqu'à la traversée de la Petite Camargue Alsacienne et le retour au Rhin (zone hydrographique A023)

La nappe phréatique

La nappe phréatique rhénane, une des plus importantes d'Europe, est rechargée durant l'hiver par les pluies et les cours d'eau ; son niveau maximum est en février. Durant l'été, l'apport se fait quasiment uniquement par les cours d'eau, mais ceux-ci drainent aussi fortement la nappe, menant à un déficit des stocks en eau. Le niveau le plus bas est généralement observé en septembre (**Graphique 8**) (Lecluse 2014).



Graphique 8 : Bilan hydrique de la nappe rhénane (S. Lecluse)

Les deux puits suivis sur la réserve montrent un niveau piézométrique relativement : le battement d'eau est de 1,61 mètres à la Maison Eclusière entre 1975 et 2017 et de 1,5 mètre au nord du site historique entre 1992 et 2018. A l'inverse, pour un puits situé sur la terrasse au-dessus de la Petite Camargue Alsacienne, le battement est de 4,37 mètres entre 1975 et 2017 et la tendance est à la baisse du toit de la nappe phréatique (EauFrance n.d.).

Un autre piézomètre est installé dans le secteur renaturé de l'île du Rhin. La mise en eau du Petit Rhin en 2015 a permis la hausse et la stabilisation du toit de la nappe dans ce secteur qui est partiellement isolé du reste de la nappe par le Grand Canal.

CLIMAT FUTUR

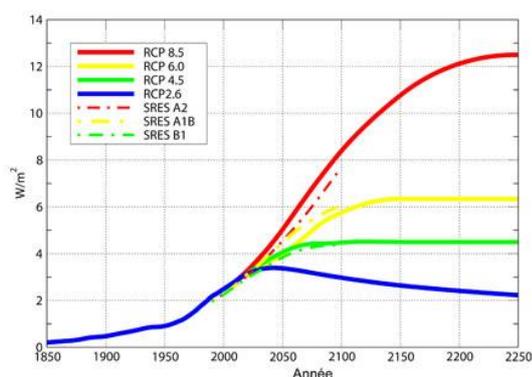
Les tendances climatiques futures sont principalement issues du site Drias (Météo-France n.d.), mettant à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français, et de SMHI-Hypeweb (Copernicus n.d.), un outil du programme européen Copernicus qui rassemble les données obtenues à partir des satellites environnementaux et d'instruments de mesure sur site.

Pour les données provenant de Drias, trois modèles climatiques différents seront comparés :

- la médiane de l'EuroCodex-2014 qui établit une moyenne sur 11 modèles différents ;
- l'IPSL 2014 (LMDZ) : modèle global, spécifiquement développé pour les études du climat terrestre et des atmosphères planétaires, qui fournit des valeurs qualifiées d'optimistes ;
- le CNRM 2014 (Arpège-Climat) : modèle global qui est une version du modèle de prévision météorologique de Météo-France spécialement adaptée pour les études climatiques ; il est jugé plutôt pessimiste.

Les tendances futures sont faites sur la base des valeurs médianes fournies par l'EuroCodex-2014. Les deux autres modèles sont précisés à titre indicatif pour donner une fourchette de valeurs.

Les tendances climatiques futures de la réserve sont établies pour trois horizons : le proche centré sur 2035 (calculé sur la période 2021-2050 et noté H1), le moyen centré sur 2055 (2041-2070, noté H2) et le lointain pour 2085 (2071-2100, noté H3). La période de référence, lorsqu'elle n'est pas précisée, correspond à la période 1976-2005.



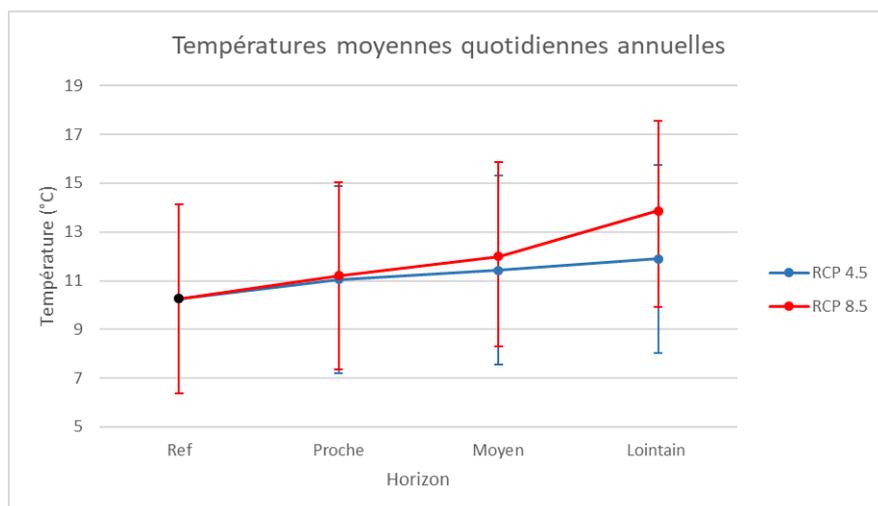
Graphique 9 : Évolution du bilan radiatif de la terre ou « forçage radiatif » selon le scénario RCP (Météo France)

Deux scénarios climatiques sont comparés :

- le **RCP 8.5** : scénario à fortes émissions mondiales de gaz à effet de serre, qui entraîne le réchauffement le plus prononcé ;
- le **RCP 4.5** : scénario à émissions mondiales modérées qui se stabilisent en 2050 grâce à des mesures pour limiter le changement climatique.

Phénomènes climatiques

Quel que soit le scénario et le modèle, l'augmentation de la température moyenne quotidienne va se poursuivre jusqu'à la fin du siècle. Pour le **RCP 4.5**, le modèle EuroCodex annonce entre **+1,57 et +2,04°C** par rapport à la normale selon les saisons d'ici la fin du siècle et le modèle CNRM va jusqu'à **+3,26°C** en été. Pour le **RCP 8.5** ce sont entre **+2,77 à +3,77°C** qui sont attendus pour H3 selon l'EuroCodex et jusqu'à **+5,7°C** en été selon le CNRM. Les températures moyennes quotidiennes annuelles pour le modèle EuroCodex sont présentées dans le **Graphique 10**.



Graphique 10 : Températures annuelles, minimales et maximales moyennes selon les scénarios RCP et les horizons pour le secteur de Saint-Louis (Modèle EuroCodex-2014, Drias)

Selon le **RCP 4.5**, les températures minimales augmenteront de **+0,73 à +1,69°C** pour H1, de **+0,99 à +1,89°C** pour H2 et de **+1,25 à +2,69°C** pour H3. Les températures maximales augmenteront de **+0,92 à +1,68°C** pour H1, de **+0,8 à +2,06°C** pour H2 et de **+0,92 à +3,84°C** pour H3.

Selon le **RCP 8.5**, les températures minimales augmenteront de **+0,72 à +1,63°C** pour H1, de **+1,49 à +2,71°C** pour H2 et de **+2,82 à +4,93°C** pour H3. Les températures maximales augmenteront de **+0,21 à +1,61°C** pour H1, de **+0,91 à +3,51°C** pour H2 et de **+1,97 à +6,49°C** pour H3.

Les phénomènes liés à la température vont également évoluer dans le même sens :

- augmentation du nombre de jours des phénomènes chauds : **+13 à +37 jours d'été** ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) d'ici la fin du siècle par rapport à la normale pour le **RCP 4.5**, **+21 à +62 jours** pour le **RCP 8.5** ;
- diminution du nombre de jours des phénomènes froids : **-26 à -36 jours de gel** à l'horizon lointain pour le **RCP 4.5**, **-41 à -47 jours** pour le **RCP 8.5** (Tableau 5).

Tableau 4 : Références et anomalies du nombre de jours d'évènements de température pour le secteur de Saint-Louis selon les deux scénarios RCP et les trois modèles climatiques (Drias)

		RCP 4.5			RCP 8.5		
		EuroCodex	IPSL	CNRM	EuroCodex	IPSL	CNRM
Jours d'été ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$)	<i>Réf</i>	41	35	43	41	35	43
	2035	+11	+12	+18	+12	+4	+17
	2055	+14	+18	+18	+22	+11	+36
	2085	+19	+13	+37	+43	+21	+62
Nuits tropicales ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$)	<i>Réf</i>	0	0	1	0	0	1
	2035	+3	+4	+3	+3	+4	+3
	2055	+3	+6	+7	+9	+9	+12
	2085	+5	+8	+12	+25	+20	+38
Jours de gel ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$)	<i>Réf</i>	67	70	67	67	70	67
	2035	-12	-16	-20	-11	-13	-23
	2055	-14	-22	-20	-22	-28	-34
	2085	-26	-29	-36	-41	-47	-46

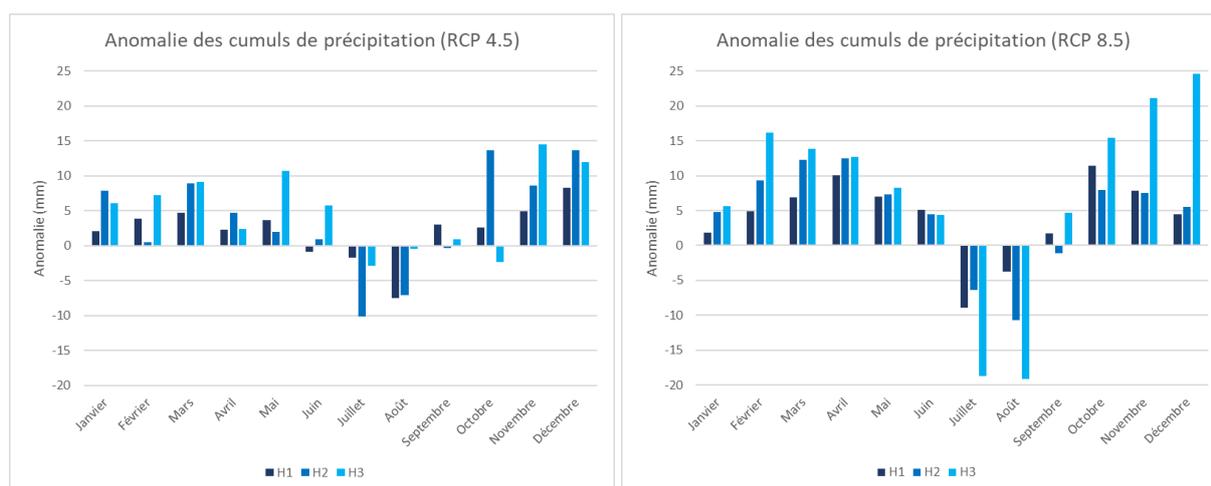
Jours sans dégel (Tmax < 0°C)	Réf	16	19	16	16	19	16
	2035	-4	-9	-5	-3	-5	-5
	2055	-6	-10	-4	-7	-7	-10
	2085	-9	-13	-10	-12	-16	-12

Les modèles s'accordent sur une augmentation du cumul annuel des précipitations pour l'horizon proche mais les tendances divergent pour la fin du siècle, l'un des modèles indiquant une baisse.

Pour le **RCP 4.5**, les anomalies par rapport à la normale sont de **+2,03 à +84,82** mm pour la fin du siècle, soit un cumul annuel variant entre 900,58 et 963,54 mm (la valeur de référence utilisée est celle calculée par les modèles).

Pour le **RCP 8.5**, les anomalies par rapport à la normale sont de **-11 à +249** mm pour la fin du siècle, soit un cumul annuel variant entre 887,55 et 1127,72 mm.

L'évolution du cumul des précipitations n'est pas homogène sur l'année. Les données Euro-Codex2014 montrent une hausse de l'automne au printemps, qui sera très marquée d'ici la fin du siècle notamment entre octobre et décembre, et une baisse en juillet août (**Graphique 11**). Le modèle CNRM quant à lui présente un déficit marqué des précipitations allant de juillet à octobre pour la fin du siècle, alors que l'IPSL prévoit une hausse des cumuls sur toute l'année.



Graphique 11 : Anomalies (en mm) des cumuls mensuels de précipitations selon l'horizon temporel et pour les deux scénarios RCP 4.5 et 8.5 (Modèle EuroCodex-2014, Drias)

La proportion de précipitations intenses (précipitations au-dessus du 90^{ème} centile annuel) pourrait également être amenée à évoluer mais les tendances ne sont pas en accord selon les modèles et les scénarios. Pour le scénario **RCP 8.5**, le modèle du CNRM prévoit une augmentation de ces précipitations sur toutes les saisons d'ici la fin du siècle, alors que l'IPSL les prévoit à la baisse excepté pour l'été, contrairement à l'EuroCodex qui prévoit une augmentation excepté pour l'été. Pour le scénario **RCP 4.5**, les trois modèles sont rattachés sur une augmentation en été/automne, mais divisés pour l'hiver et le printemps. Les évolutions restent modérées, entre **-6 à +6%** par rapport à la normale.

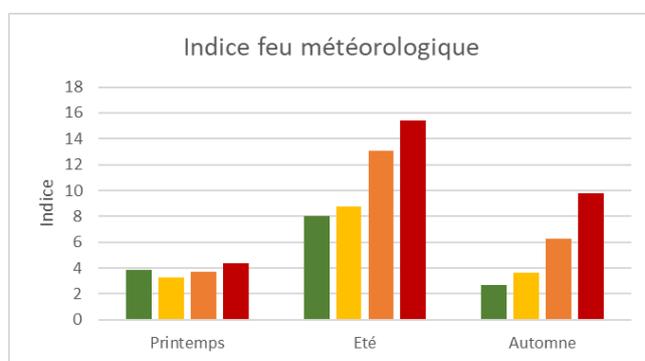
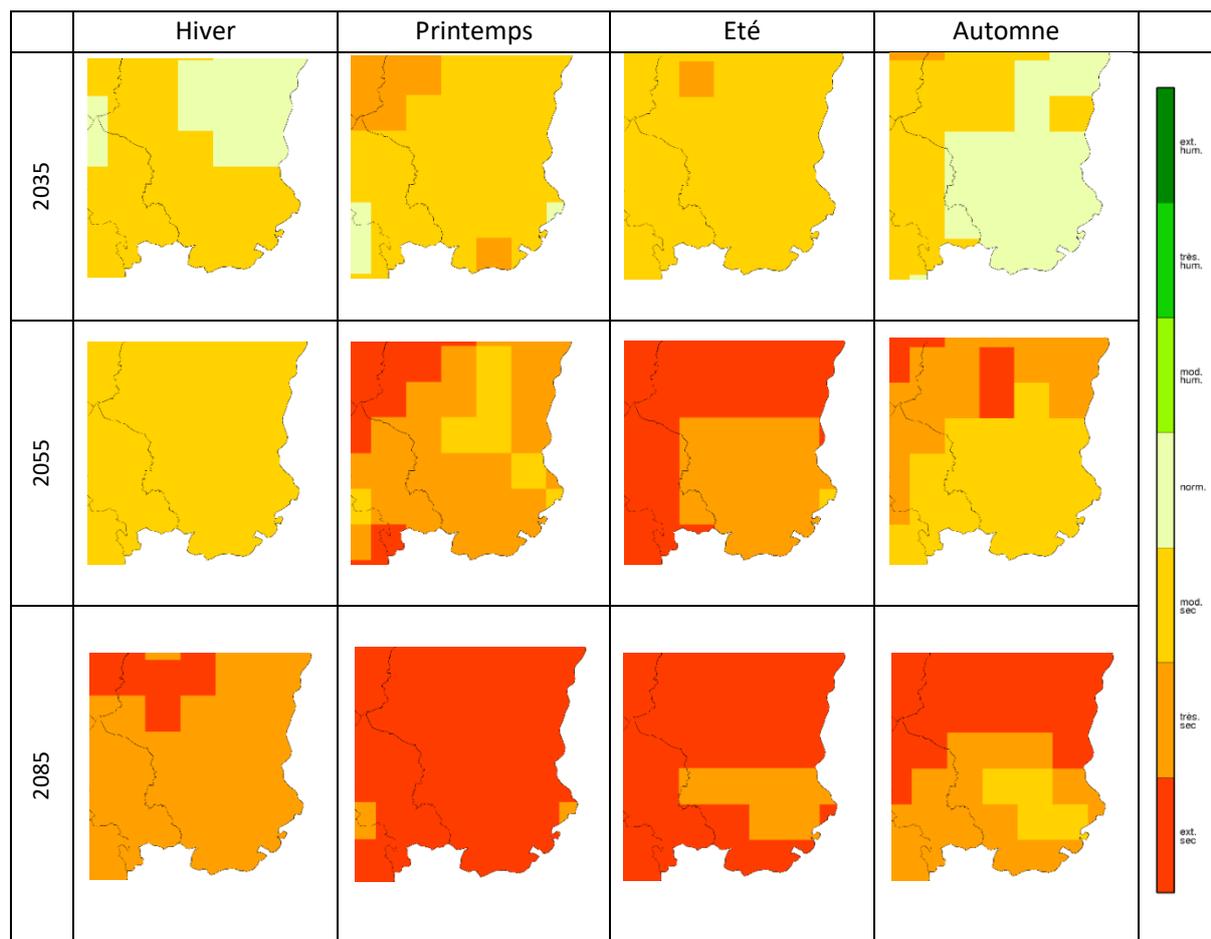
L'indice de sécheresse des sols est construit sur le modèle CNRM en se basant sur les scénarios climatiques SRES (ils ont depuis été remplacés par les scénarios RCP).

Sur la période de référence, l'humidité des sols est considérée comme normale toute l'année. Le scénario

B1, équivalent du **RCP 4.5**, prévoit une humidité des sols normale pour les horizons proche et moyen sur les quatre saisons. Pour l'horizon lointain, les sols seraient modérément secs à extrêmement secs.

Selon le scénario **RCP 8.5**, la tendance sera à la sécheresse dans l'avenir. A l'horizon H1, les sols seront modérément secs de l'hiver à l'été et normaux en automne. En revanche, pour l'horizon H2, les sols seront modérément secs en automne et en hiver et très secs au printemps et en été. La Petite Camargue reste dans une zone relativement humide, dès 2055 le reste du département sera dans l'extrêmement sec en été. Cette tendance à la sécheresse se poursuivra pour l'horizon H3, les sols seront très secs à extrêmement secs sur toute l'année (**Tableau 6**).

Tableau 5 : Cartes de sécheresse des sols pour les trois horizons sur le département du Haut-Rhin, selon le modèle CNRM et le scénario pessimiste A2 (équivalent du RCP 8.5)



Graphique 12 : Indice de feu météorologique par saison pour la période de référence et pour les horizons H1 et H2 selon le modèle CNRM et le scénario A2

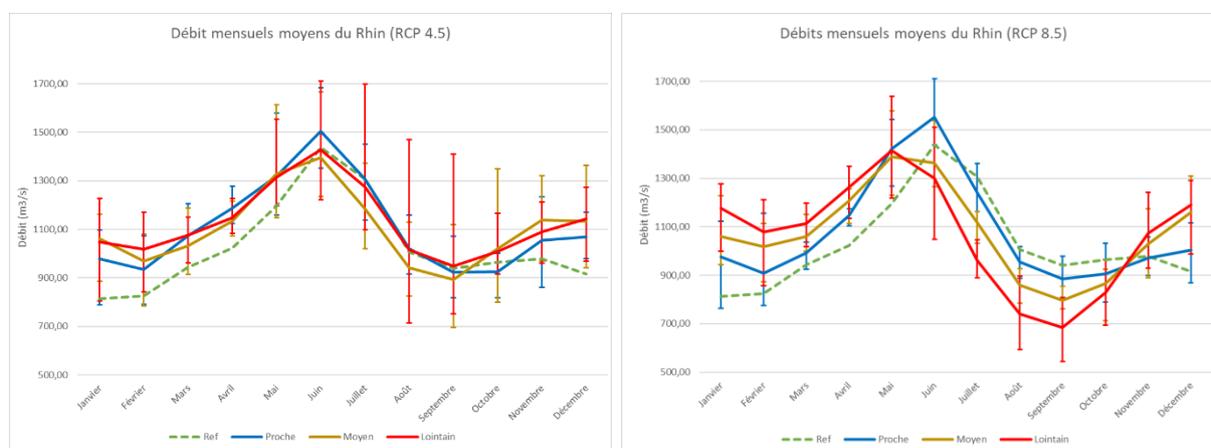
Le risque d'occurrence de feu de forêt est estimé à partir de l'Indice de Forêt Météo (IFM). La probabilité de voir un feu se déclencher devient non négligeable lorsque l'IFM dépasse 20. Au niveau de la Petite Camargue Alsacienne, l'IFM augmente en été et en automne pour les trois horizons, mais reste inférieur à 20, même pour l'horizon H3 (**Graphique 12**). Le risque de feu de forêt reste donc relativement faible, mais serait à prendre en compte pour éviter des feux d'origine humaine.

Selon Météo-France et le cinquième rapport du GIEC, il n'est pour l'instant pas possible d'établir un lien entre changement climatique et tempête en France. Les projections ne montrent aucune tendance significative sur le long terme. En revanche la probabilité de vents forts pourrait augmenter mais de manière modérée (+5%) (Météo-France n.d.).

Le risque d'inondation sera amené à augmenter, dû à l'évolution des précipitations. L'augmentation des cumuls en hiver accentuera le ruissellement, notamment si les surfaces agricoles sont à nu. La hausse du nombre de jours de fortes pluies, même si elle semble restreinte, augmentera aussi le risque d'inondations locales par une montée rapide des eaux dans les zones urbanisées, accompagnée par des coulées boueuses. Avec l'augmentation des cumuls de précipitations en hiver, une élévation lente des cours d'eau est aussi à prévoir. Celle-ci peut se révéler dangereuse si elle mène à la surcharge des barrages et à leur rupture. Plusieurs communes de l'agglomération de Saint-Louis sont déjà concernées par le risque de rupture de la digue de canalisation du Rhin.

Hydrographie

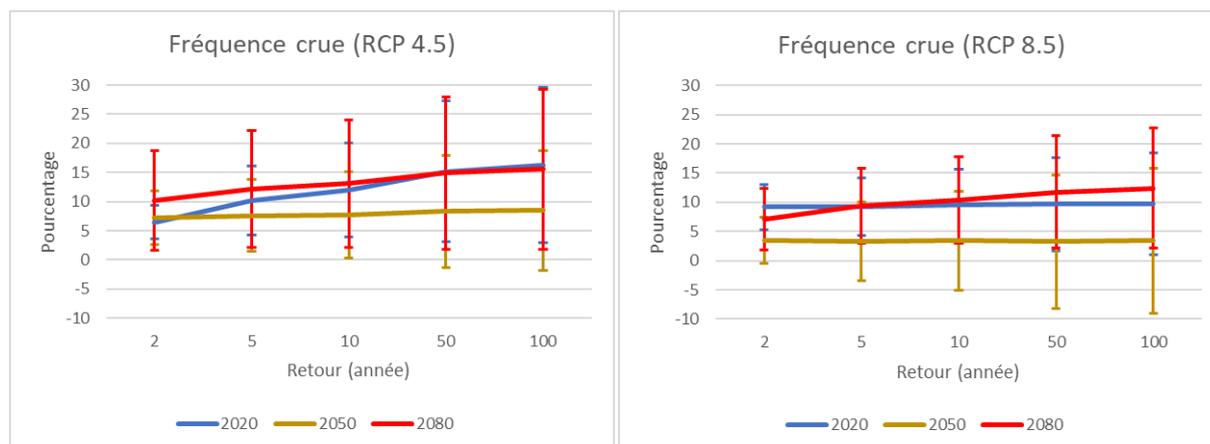
Le régime du Rhin pourrait être amené à évoluer d'ici la fin du siècle, passant de glaciaire à nivo-glaciaire. Pour le **RCP 4.5** les débits moyens varieront entre 900 et 1500 m³/s, avec des minimums à 700 m³/s en août-septembre et des maximums à 1700 m³/s en juin-juillet pour la fin du siècle. Pour le **RCP 8.5**, les débits moyens varieront entre 700 et 1500 m³/s, avec des minimums à 550 m³/s en septembre et des maximums à 1700 m³/s en juin pour la fin du siècle (**Graphique 24**). Les étiages seront également plus longs et plus fréquents, notamment durant l'été hydrologique.



Graphique 13 : Débits moyens mensuels du Rhin à hauteur de Bâle pour la période de référence et selon l'horizon temporel, pour les deux scénarios RCP 4.5 et 8.5 (SMHI-Hypeweb)

La prévision des fréquences des crues est également disponible. Les scénarios **RCP 4.5 et 8.5** présentent des tendances et valeurs similaires : il est probable que toutes les crues augmentent en fréquence aux horizons proche et lointain mais la plage d'incertitude est forte pour les crues rares. La fréquence des crues ayant une période de retour de 100 ans peut par exemple augmenter de +2 à +30% pour la fin du siècle. Les tendances sont moins certaines à l'horizon moyen, une réduction des fréquences est possible, notamment pour les crues rares (**Graphique 14**). Les débits pour les périodes de retour correspondent à :

2 ans = 2453 m³/s, 5 ans = 2965 m³/s, 10 ans = 3305 m³/s, 50 ans = 4051 m³/s et 100 ans = 4367 m³/s.



Graphique 14 : Prévisions des variations de fréquence des crues par rapport à la normale pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5 aux trois horizons (SMHI-Hypeweb)

La température de l'eau devrait aussi augmenter. Pour le mois d'août, une hausse d'origine climatique de **+1,5°C** est attendue pour 2050 et de **+3,5°C** pour 2080 selon le CIPR. A cela peuvent encore s'ajouter des pressions anthropiques comme les rejets thermiques. Le nombre moyen de jours/an où l'eau dépassera la température de 25°C à hauteur de Bâle devrait être de **4 à 6** pour 2050 et de **26 à 32** pour 2080 (CIPR 2014). Cette prévision s'appliquant sur le débit en amont de la réserve, on peut supposer que la température du Vieux Rhin qui a un débit moindre sera plus élevée. Le nombre de jours dépassant les 25°C sera également plus important. Selon les données de température récupérées sur SMHI-Hypeweb, la hausse de la température moyenne pourrait dépasser les +5°C pour la fin du siècle.

L'évolution future de la nappe phréatique rhénane sous l'effet du changement climatique est modélisée dans la thèse de C. Thierion (Thierion 2012). Les évolutions sont calculées pour un horizon moyen (2046-2065) et lointain (2081-2098) et présentées sous forme d'évolution par rapport à la période 1961-2000. Dans le futur proche, le **modèle Arpège A1B** (intermédiaire) prévoit un abaissement de la nappe de **-0,9 mètres** entre Bâle et Mulhouse et le **modèle MRI** un abaissement pouvant atteindre presque **-3 mètres**. Il existe 4 autres modèles prédisant une augmentation du niveau de la nappe, ces modèles étant associés à une augmentation des précipitations. Globalement, le mois de février considéré comme la période des hautes eaux devrait voir le niveau de la nappe augmenter jusqu'à presque **+2 mètres** selon les modèles. La période des basses eaux, en septembre, verra son niveau baisser.

Dans le futur lointain, le **modèle Arpège A1B** prévoit une faible augmentation du niveau de la nappe de **+0,3 mètres** au niveau de Bâle et le **modèle Arpège A2** (pessimiste) prévoit une diminution globale de la hauteur d'eau de presque **-1 mètre**. Durant le mois de février, le niveau augmente pour les deux modèles et baisse en septembre. Les autres modèles sont en accord.

L'évolution du niveau de la nappe est fortement corrélée à l'évolution des précipitations pour chacun des modèles. Si celles-ci augmentent, le niveau global de la nappe devrait augmenter aussi, avec néanmoins des variations dans l'année. En suivant les prévisions de précipitations du modèle Euro-Codex2014, le niveau devrait augmenter en hiver et baisser en fin d'été/début d'automne par rapport à la normale.

L'Augraben étant partiellement d'origine phréatique, on peut s'attendre à voir son régime évoluer en fonction du niveau de la nappe : le débit devrait augmenter en hiver et diminuer en fin d'été. Etant aussi alimenté par les pluies et les déversoirs d'orage, l'effet de l'augmentation des précipitations en hiver s'ajoutera à ceux de la nappe. L'évolution du régime des précipitations pourrait aussi augmenter le lessivage

des sols agricoles et des milieux urbains, chargeant l'Augraben en matières organiques et en polluants tels que le nitrate.

Synthèse détaillée des données climatiques futures

Pour les données Drias, les valeurs dans le tableau sont les valeurs médianes du modèle EuroCodex-2014.

		RCP 4.5 (scénario optimiste)			RCP 8.5 (scénario pessimiste)			Source	Tendance future
		Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain		
T° moyenne quotidienne (°C)	Hiver	+0,92	+1,19	+2,04	+0,69	+1,89	+3,64	Drias	↗
	Printemps	+0,66	+0,85	+1,57	+0,7	+1,36	+2,77		
	Été	+0,95	+1,34	+1,71	+1,17	+1,95	+3,77		
	Automne	+0,87	+1,71	+1,93	+1,06	+2,15	+3,47		
Jours d'été	Année	+11	+14	+19	+12	+22	+43	Drias	↗
Jour de gel	Année	-12	-14	-26	-11	-22	-41	Drias	↘
Cumul des précipitations (mm)	Hiver	+17,55	+21,54	+27,36	+15,64	+30,18	+50,69	Drias	↗
	Printemps	+10,81	+9,88	+16,14	+23,94	+27,98	+37,9		↗
	Été	-9,09	-8,5	+4,13	-2,19	-5,5	-41,05		↘
	Automne	+6,46	+17,42	+16,39	+10,52	+12,05	+43,17		↗
Précipitations intenses (%)	Hiver	+1,18	+2,15	+0,56	+1,32	+0,89	+2,78	Drias	↗
	Printemps	-1,12	-1,4	+0,21	+2,52	+1,27	+3,01		
	Été	-1,34	-1,25	-0,74	-2,05	+0,62	-2,56		
	Automne	+2,71	+2,54	+4,08	+0,74	+3,06	+6,48		
Sécheresse des sols	Hiver	Normale	Normale	Mod. sec	Mod. sec	Mod. sec	Très sec	Drias	↗
	Printemps	Normale	Normale	Ext. sec	Mod. sec	Très sec	Ext. sec		
	Été	Normale	Normale	Mod. sec	Mod. sec	Très sec	Très sec		
	Automne	Normale	Normale	Mod. sec	Normale	Mod. sec	Très sec		
Indice feu de forêt	Printemps	3,03	2,79	4,18	3,29	3,74	4,39	Drias	↗
	Été	10,59	8,86	12,3	8,76	13,06	15,39		
	Automne	4,56	4,07	5,27	3,61	6,3	9,8		
Tempête/vents	Année	Légère augmentation vents violents (+5%) mais pas de lien avec les tempêtes						Météo France	↗
Rhin : variation des débits moyens (%)	Hiver	+16	+19	+22	+12	+22	+31	Swicca	↗
	Printemps	+10	+6	+7	+13	+10	+11		↗
	Été	+0	-7	+0	-5	-15	-27		↘
	Automne	+7	+15	+14	+1	+7	+9		↗
Rhin : crue	Année	Probable augmentation de la fréquence des crues, notamment rare						SMHI, CIPR	↗
Rhin : température	Année	+1,5°C pour 2050, +3,5°C pour 2080						CIPR	↗
Nappe phréatique	Hiver	Hausse du toit de la nappe						C.	↗
	Été	Baisse du toit de la nappe						Thierion	↘
Augraben	Hiver	Hausse des débits moyens							↗
	Été	Baisse des débits moyens							↘

GLOSSAIRE

Climat continental

concerne les régions des latitudes moyennes éloignées du littoral, caractérisé par une forte amplitude thermique sur l'année et par des cumuls de précipitations plus réduits que le long du littoral.

Climat océanique

caractérisé par des hivers doux et humides, des étés frais, une amplitude thermique faible sur l'année et des précipitations abondantes.

Etiage

niveau moyen le plus bas d'un cours d'eau.

Modèle climatique

modélisation mathématique qui simule les interactions entre l'atmosphère, l'océan et les surfaces continentales pour obtenir les évolutions possibles du climat terrestre.

Régime glaciaire

régime hydrologique caractérisé par des basses eaux en hiver et des débits importants en été corrélés à la fonte des glaces.

Régime nivo-glaciaire

régime hydrologique caractérisé par des basses eaux en hiver, des débits importants liés à la fonte des neiges à la fin du printemps et à la fonte des glaces en été.

Scénario climatique

hypothèses sur l'évolution de la démographie mondiale et des modes de vie à travers la planète pour simuler les émissions futures de gaz à effet de serre. Les scénarios les plus récents sont les scénarios RCP établis par le GIEC.

BIBLIOGRAPHIE

- CIPR. 2011. *Etude de Scénarios Sur Le Régime Hydrologique Du Rhin*.
- CIPR. 2014. "Estimations Des Conséquences Du Changement Climatique Sur l'évolution Future Des Températures de l'eau Du Rhin Sur La Base de Scénarios Climatiques Rapport Succinct."
- Copernicus. n.d. "SWICCA | Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation." Retrieved October 23, 2019 (<https://swicca.eu/>).
- EauFrance. n.d. "Système d'Information Sur l'Eau Rhin-Meuse." Retrieved September 30, 2019 (<http://rhin-meuse.eaufrance.fr/>).
- InfoClimat. 2020. "Normales et Records Climatologiques 1981-2010 à Bâle-Mulhouse - Infoclimat." Retrieved September 30, 2019 (<https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1981-2010/bale-mulhouse/valeurs/07299.html>).
- Lecluse, Simon. 2014. "Modélisation de l'influence Du Changement Climatique Sur La Nappe Phréatique Du Rhin Supérieur."
- Météo-France. n.d. "Drias, Les Futurs Du Climat - Accueil." Retrieved October 23, 2019a (<http://www.drias-climat.fr/>).
- Météo-France. n.d. "Les Tempêtes et Le Changement Climatique - Tempêtes En France Métropolitaine." Retrieved October 9, 2019b (<http://tempetes.meteo.fr/spip.php?article197>).
- MétéoFrance. n.d. "ClimatHD : Le Climat Passé et Futur En France." Retrieved September 30, 2019 (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>).
- Thierion, Charlotte. 2012. "Modélisation Du Fonctionnement de l'aquifère Alluvial Du Fossé Rhénan Supérieur, Vulnérabilité Sous l'impact Du Changement Climatique." Ecole nationale supérieure des mines de Paris.
- Windfinder. n.d. "Statistiques de Vent et Météo Aéroport de Bâle-Mulhouse - Windfinder." Retrieved October 13, 2020 (<https://fr.windfinder.com/windstatistics/bale-mulhouse>).



Le projet LIFE Natur'Adapt vise à intégrer, en innovant sur la base des ressources existantes, les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Prévu sur 5 ans (2018-2023), il est coordonné par Réserves Naturelles de France, en s'appuyant sur un processus d'apprentissage collectif dynamique avec neuf autres partenaires. Il se structure autour de trois grands axes : l'élaboration d'outils et de méthodes opérationnels à destination des gestionnaires pour élaborer un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique et un plan d'adaptation ; le développement et l'animation d'une communauté d'experts et de praticiens de l'adaptation dans les espaces naturels ; l'activation de tous les leviers nécessaires pour la mise en œuvre concrète de l'adaptation. Les différents outils seront expérimentés sur six réserves partenaires du projet, puis revus et testés sur 15 autres sites avant d'être déployés aux échelles nationale et européenne.

Coordinateur du projet



Contact : naturadapt-rnf@espaces-naturels.fr 03.80.48.91.00

Partenaires engagés dans le projet



Financeurs du projet



The NaturAdapt project has received funding from the LIFE Programme of the European Union