

Bilan hydrique du Surf Park de Canéjan.

14 décembre 2023

Denis Loustau,

Directeur de recherches, chargé de mission

INRAE. 71 av. Edouard Bourlaux, Villenave d'Ornon, 33140.

denis.loustau@inrae.fr

Denis Loustau est chercheur en écologie physique dans l'Unité Mixte de Recherches « Interactions Sol Plante Atmosphère », INRAE- École Bordeaux Sciences Agro. Spécialiste du bilan d'énergie des couverts forestiers, il étudie le cycle du carbone et de l'eau des forêts tempérées à partir de mesures in situ et de modélisation basée sur les processus biophysiques et biogéochimiques. Il a coordonné la construction de l'infrastructure européenne ICOS et son réseau de stations sur les écosystèmes. Au cours des dernières années, Denis Loustau a coordonné plusieurs études concernant les impacts environnementaux d'infrastructures photovoltaïques ou hydrauliques pour ENGIE, NEOEN, Bordeaux Métropole, l'ADEME, le MASA. Il coordonne le projet de recherche IMPACTS (2023-2027) financé par la Région Nouvelle Aquitaine qui réunit INRAE, BRGM et l'École Bordeaux-Sciences-Agro et vise à caractériser les interactions microclimatiques et hydrologiques entre les occupations des terres (parcs photovoltaïques, forêts, vignoble) au sein du paysage rural girondin en Nouvelle Aquitaine.

Table des matières

Approche et méthodes.....	4
Pluies efficaces.....	4
Évaporation de l'eau des deux bassins	5
Température de l'eau des bassins	5
Vitesse du vent	6
Pertes d'eau additionnelles	6
Effet des vagues.....	6
Exportation d'eau liquide	7
Flux internes échangés entre les réservoirs et bassins et besoin en eau de ville	7
Calculs et reconstitutions réalisées	7
Résultats	8
Bilan hydrique du surf parc	8
Cas 1. Autonomie en eau.....	8
Cas 2. Bassins 1 et 2 maintenus à niveau	9
Effet de la température de l'eau et des pertes additionnelles sur le bilan hydrique du surf parc.	11
Conclusions.....	12
Références citées.....	14
Annexes.....	15

Dans le but d'éclairer la décision publique et à la demande de l'association « Canéjan en Transition », nous avons réalisé ici une étude du bilan hydrique du surf parc « Académie de la Glisse ».

Approche et méthodes

L'étude technique de la société INGETECH, annexée au permis de construire déposé à la mairie de Canéjan, décrit les informations utilisées pour établir ce bilan hydrique. Le fonctionnement hydrique des bassins du Surf parc de Canéjan est décrit dans la figure 1 et prend en compte les dernières mises à jour depuis l'étude EING2022026 au 19 /8 /2022 de la société INGETECH. Selon cette étude, l'ensemble comprend quatre réservoirs : deux bassins à vague (bassins principal et secondaire), un réservoir amont et un réservoir aval « tampon ».

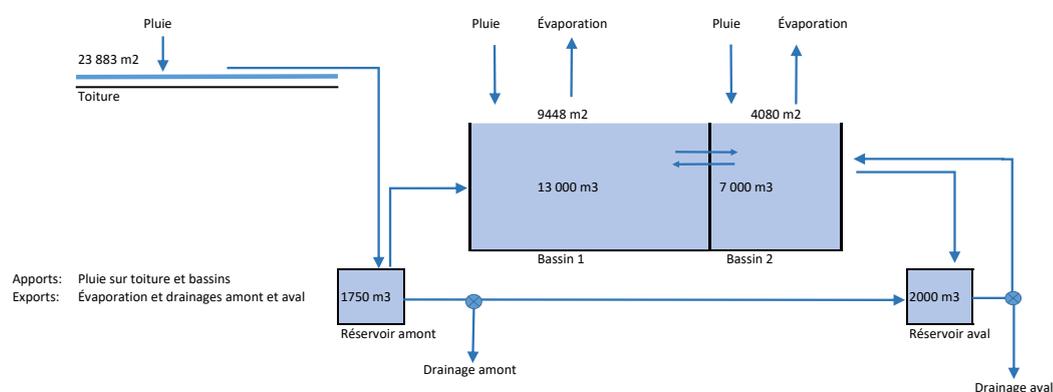


Figure 1. Modélisation du projet de surf parc de Canéjan. Dans notre approche, les flux liés aux précipitations et à l'évaporation depuis les bassins 1 et 2 et la toiture des bâtiments B1 et B2, et les flux échangés avec les réservoirs amont et aval, sont résolus au pas horaire. Les flux liés à la consommation d'eau des activités annexes (douche, toilettes etc.) n'ont pas été pris en compte.

Les apports d'eau au parc proviennent des précipitations tombant directement dans les bassins ou interceptées par la toiture des bâtiments B1 et B2 voisins. Le réservoir amont est alimenté uniquement par les précipitations dérivées des toitures. Le réservoir aval est alimenté par le débordement de la réserve amont et des deux bassins. L'apport d'eau de ville a également été envisagé (voir la section «Flux internes»). Les sorties d'eau proviennent (i) de l'évaporation depuis la surface des deux bassins et (ii) des flux d'eau drainée ou infiltrée provoqués par les précipitations en excès, reçues lorsque les bassins et les réservoirs sont à leur volume nominal.

Pluies efficaces

Les précipitations sont soit reçues directement dans les deux bassins soit collectées par la toiture des bâtiments B1 et B2, traitées et stockées dans le réservoir amont. Les pluies tombant dans les bassins sont considérées comme efficaces à 100%. Les pluies dérivées depuis les toitures ne sont pas efficaces à 100% : une partie est ré-évaporée et une partie est évacuée avec les résidus de filtration (non représentée dans la figure 1). La valeur de référence du coefficient d'efficacité préconisée par les services du Ministère du Développement durable et du Ministère de la Santé (2009) pour les toitures en terrasse est de 0,60. Suivant ce guide à destination des installateurs de

dispositifs de récupération d'eau de pluie, une valeur de 0,54 a été utilisée dans nos calculs pour tenir compte de la perte liée au filtrage de l'eau de pluie (10%).

Évaporation de l'eau des deux bassins

L'évaporation de l'eau des bassins 1 et 2 représente la principale perte d'eau du surf parc. L'évaporation est calculée selon le modèle de Shah (2014, 2018, 2023) pour un bassin extérieur d'eau douce non chauffé. Nous avons comparé cette formule à celle de Webb et Zhang (1997) ainsi qu'à celle utilisée dans par le modèle T-NET (Beaufort et al. 2016), qui s'appliquent toutes deux à des masses d'eau en mouvement (cours d'eau, rivières) ; la formule de Shah (2023) produit des valeurs supérieures à T-Net et à la formule d'évapotranspiration potentielle (ETP) de Penman-Monteith qui est utilisée dans l'étude INGETECH¹. Nous l'avons retenue car il s'agit de la seule référence pour des bassins en plein air, les autres concernant des cours d'eau ouverts et sous ripisylves. La formule de Shah est aussi celle qui décrit le mieux les données expérimentales disponibles en conditions contrôlées (Gonzalez Gallero et al. 2021) ou en plein air (Bernhard et al. 2018, Shah, 2023, communication personnelle). La formule adoptée ici nécessite de connaître les valeurs moyennes horaires de la température de la surface de l'eau des deux bassins d'une part et la vitesse du vent au-dessus des bassins d'autre part.

Température de l'eau des bassins

L'évaporation d'une étendue d'eau est sensible à la température de surface de l'eau. Le calcul de la température de l'eau des bassins nécessiterait une modélisation du bilan d'énergie de la masse d'eau. Celle-ci suppose que soit connus le bilan radiatif du parc et les flux de chaleur échangés ou stockés. Faut de ces informations, et en se basant sur les mesures de température de la rivière l'Eyre, la température de surface de l'eau des bassins du parc a été simulée comme la moyenne glissante de la température de l'air à 2 m des 30 jours précédents, augmentée de 0, 1 ou 2°C, ci-après abrégées $T_{30}+0^{\circ}\text{C}$, $T_{30}+1^{\circ}\text{C}$, $T_{30}+2^{\circ}\text{C}$, respectivement. L'hypothèse d'une élévation de la température de l'eau des bassins du parc au-dessus de la moyenne glissante des 30 derniers jours se justifie par le fait que la masse d'eau est susceptible d'échanger de la chaleur par ses parois latérales et par le fond avec le sol environnant. De plus, l'eau des bassins est continuellement pompée dans un circuit de filtration et échange de la chaleur avec le circuit de pompage. Ainsi, pour un bassin en plein air de 1,3m de profondeur, une différence de température eau - air a été mesurée entre 1,5 et 4,0°C selon l'heure de la journée (Ouellet et al. 2012).

La figure 2 représente, pour les années, 2021 et 2022, l'évolution de la température de l'eau selon trois hypothèses 0, +1 et +2°C, et la compare avec les données existantes pour les cours d'eau proches du site. Ces données ont été enregistrées sur la rivière l'Eyre à Belin-Beliet (portail Naïades, Eau France) ou sur l'Eau Bourde à Bègles (AEAG dans Brunet, 2012). La température moyenne de l'Eau Bourde est donnée ici à titre purement indicatif, la configuration de ce cours d'eau étant assez éloignée d'un bassin. Nos reconstitutions par moyenne glissante produisent des valeurs similaires à celles observées pour la rivière l'Eyre à Belin-Beliet (30 km au Sud du parc). Elles leur sont inférieures en première moitié d'année et supérieures ensuite. La température reconstituée varie entre 4 et 26°C selon les cas et les saisons. L'amplitude obtenue, 20,4°C, est plus élevée de 2°C que celle observée pour la rivière l'Eyre. Il paraît vraisemblable que la température de l'eau d'une masse d'eau captive non ombrée comme celle des bassins du parc soit plus élevée en fin d'été et automne que celle de la rivière l'Eyre dont la ripisylve

¹ INGETECH a utilisé telles quelles les données « ETP » fournies par Météo-France qui sont calculées suivant la formule de Penman – Monteith. Cette formule permet d'estimer l'évapotranspiration d'une pelouse (J.-L. Monteith, 1965).

fournit un ombrage important.

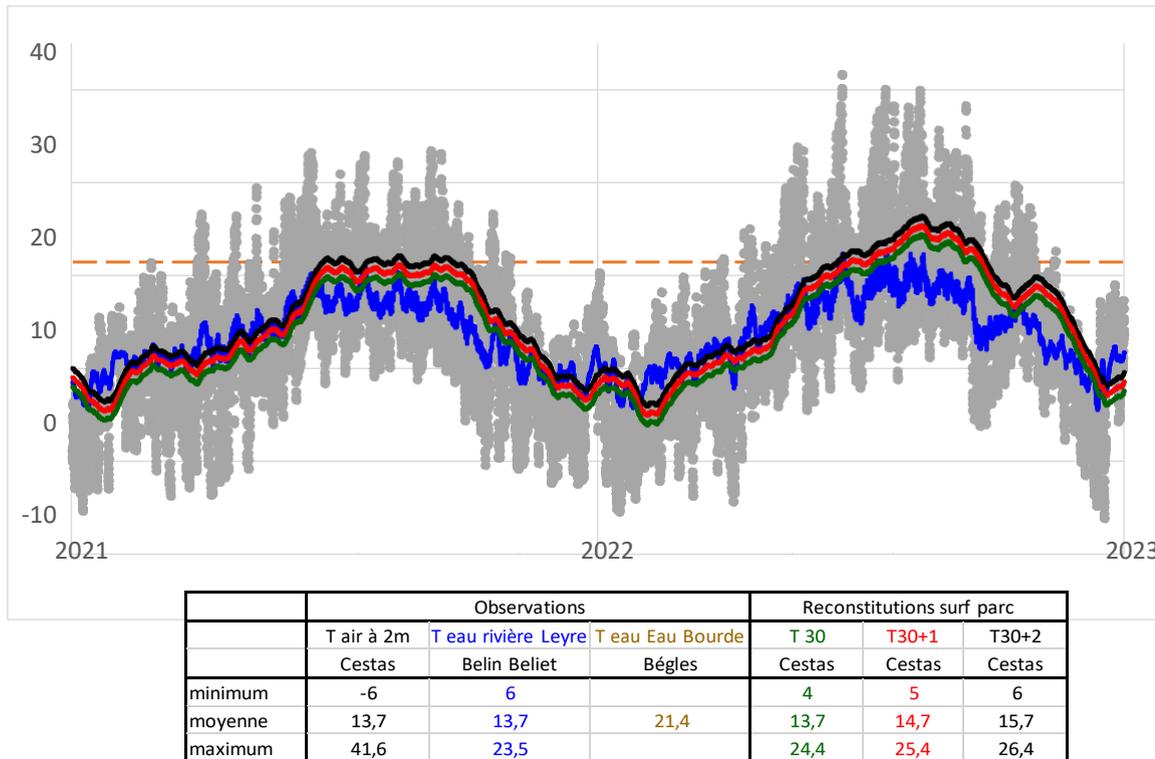


Figure 2. Température des cours d'eau Leyre à Belin-Beliet (portail Naïades), moyenne annuelle pour l'Eau Bourde à Bègles (donnée de l'Agence de l'Eau Adour Garonne, citée par Brunet 2012), température de l'air (station INRAE de Cestas) et reconstitutions appliquées pour simuler la température de l'eau des bassins du Surf Parc. La température moyenne de l'Eau Bourde (tirets oranges) est donnée à titre indicatif.

Vitesse du vent

Outre la température de surface de l'eau, le calcul d'évaporation est sensible à la vitesse de vent au-dessus du plan d'eau : une atténuation de 50% de la vitesse du vent diminue l'évaporation d'un bassin de 23%. La vitesse de vent sur les bassins est difficile à estimer faute d'éléments concernant les structures limitrophes des bassins et la hauteur des parois des bassins. Suivant les prescriptions de Shah (2023), nous avons utilisé ici la vitesse moyenne horaire à 0,3m au-dessus du bassin. Elle est calculée à partir de la vitesse moyenne horaire mesurée à 2 m atténuée selon un profil extrapolé à 0,3m, ce qui donne une atténuation allant de 1,096 à 1,31 suivant les modèles (FAO, 1990, Delgado et al. 2016, Lowell et al. 2019, Shah 2023). Nous avons retenu la valeur de 1,31 qui produit les valeurs les plus basses d'évaporation.

Pertes d'eau additionnelles

Effet des vagues

La littérature disponible montre que l'effet des vagues sur l'évaporation depuis des bassins ouverts varie selon le régime de convection (libre, mixte ou forcée). Il est cependant toujours positif. En conditions naturelles, l'évaporation se produit majoritairement sous les régimes de convection mixte et forcé (vent supérieur à $0,15 \text{ m s}^{-1}$) et les vagues augmentent alors l'évaporation de 15 à 45% avec une moyenne de 29% par rapport à une surface d'eau calme

(Jodat et al. 2013).

Exportation d'eau liquide

Les pratiquants exportent à chaque sortie un certain volume d'eau sur leur combinaison, leur planche, etc. Ce volume peut être estimé entre 0,5 et 2,0 dm³ d'eau par surfer. Il est considéré comme perdu pour les bassins. L'eau éclaboussée sur les plages et zones périphériques des bassins est aussi considérée comme perdue.

Pour tenir compte de l'effet des vagues et de ces exportations d'eau liquide, nous avons donc estimé que ces pertes cumulées pouvaient augmenter la perte d'eau totale de +30 à +70% par rapport à l'évaporation de bassins en milieu ouvert, selon la fourchette proposée par Quarnstrom (2022).

Flux internes échangés entre les réservoirs et bassins et besoin en eau de ville

Les flux internes entre les différents réservoirs sont hiérarchisés selon les indications fournies dans le rapport INGETECH. Les deux bassins sont remis à niveau en utilisant d'abord la réserve amont. Quand celle-ci est vide, le réservoir tampon aval est sollicité. Le bassin 1 est rempli en priorité. Quand il est plein, le bassin 2 est à son tour réapprovisionné. Deux cas de fonctionnement ont été envisagés :

- Cas numéro 1 « Parc autonome ». Ce cas vise à évaluer l'autonomie en eau du surf parc. Les bassins et réservoirs du surf parc sont autonomes et alimentés uniquement par les précipitations. Le réservoir amont est alimenté uniquement par les précipitations dérivées des toitures. Le réservoir aval est alimenté par le débordement de la réserve amont et des deux bassins. Aucun apport d'eau de ville n'est réalisé. Ce cas est celui envisagé dans le rapport INGETECH. Le bassin principal (1) est prioritaire sur le bassin secondaire (2) : quand son volume diminue et si les réservoirs sont vides, il est complété à 13 000 m³ par prélèvement dans le bassin (2).
- Cas numéro 2 « Parc fonctionnel ». Dans ce cas, pour assurer le fonctionnement en continu du parc, les deux bassins (1) et (2) sont remis à niveau tous les jours en complétant leur niveau par apport d'eau de ville (potable) quand les réservoirs amont et aval sont vides. Ce cas correspond au fonctionnement optimal du parc.

Dans les deux cas, le bilan de masse d'eau de l'ensemble du système a été vérifié en comparant les sorties et entrées d'eau et une fois tenu compte des variations de volume des réservoirs.

Calculs et reconstitutions réalisées

Pour chacun des deux cas envisagés, le fonctionnement du parc a été calculé sur la période s'étendant du 1^{er} janvier 1993 au 31 décembre 2022 avec la climatologie observée sur cette période. Cette simulation utilise les données météorologiques mesurées par la station de Météo-France à Mérignac (7,9 km du parc). Les données de la station météorologique INRAE de Cestas (Pierroton, à 8.6 km) ont été aussi utilisées pour compléter les données absentes. Le bilan hydrique du parc est résolu au pas horaire. Le volume de chaque réservoir, le flux d'évaporation, les apports par les précipitations, les flux d'eau drainée vers le milieu naturel soit par débordement des bassins vers l'aval ou en cas d'eau de pluie excédentaire en amont ainsi que les flux internes échangés entre les réservoirs et les deux bassins (fig. 1) sont calculés heure après heure.

Les résultats sont présentés ci-dessous.

Résultats

Bilan hydrique du surf parc

Cas 1. Autonomie en eau

La dynamique du bilan hydrique du parc est représentée figure 3. Le graphe supérieur illustre la dynamique annuelle du volume des bassins et réservoirs au cours de l'année 1993 prise ici en exemple, et selon le cas (1) « autonomie en eau ». Tous les réservoirs et bassins sont considérés comme remplis au début de la simulation.

Au cours de l'année, les deux réservoirs amont et aval se vident les premiers et sont entièrement secs au début de l'été. Ils restent ensuite pratiquement vides durant toute la deuxième partie de l'année. Dans la deuxième partie de l'année, les apports ne suffisent pas à maintenir le niveau du bassin (2) qui diminue rapidement, il est vide dès la fin de l'été. Le bassin principal ne peut alors plus être maintenu à niveau et fluctue sans retrouver son volume maximal lui permettant de fonctionner.

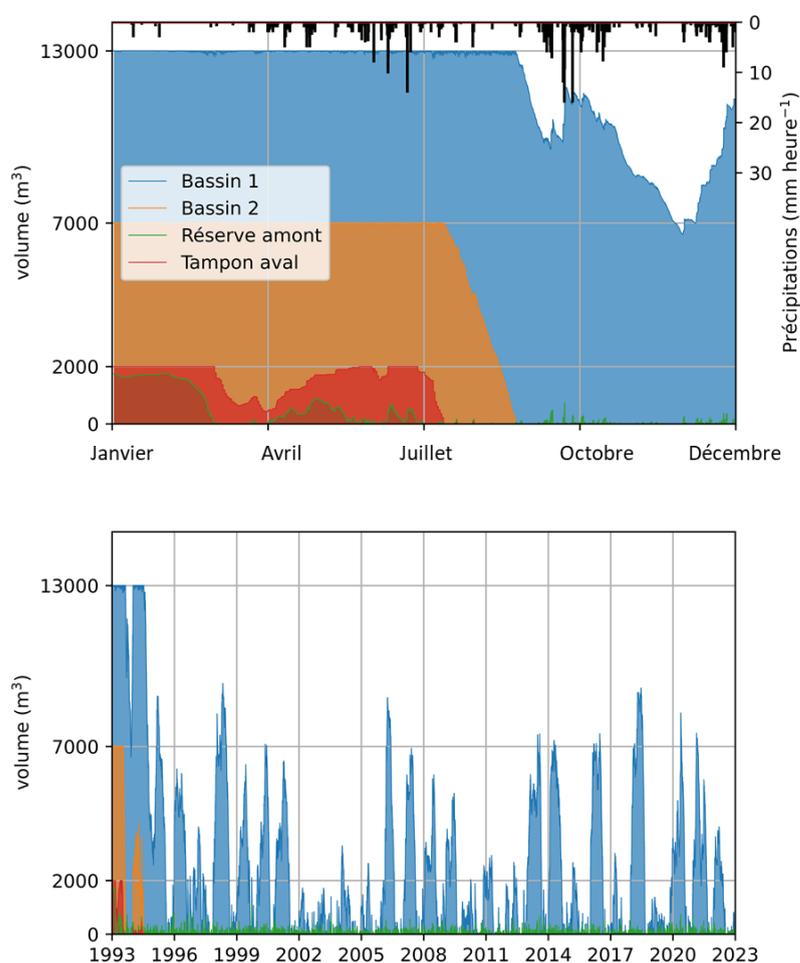


Figure 3. Évolution du volume d'eau des quatre réservoirs du projet de surf parc sous les hypothèses T30 +1°C, avec 50% de pertes en eau additionnelles et selon le cas de fonctionnement numéro 1 (« Parc autonome en eau »). Le graphe supérieur, à titre d'illustration, présente l'évolution du parc au cours de l'année 1 (1993). Le graphe inférieur représente le fonctionnement de 1993 à 2022.

Le graphique inférieur de la figure 3 montre la dynamique du parc sur la période 1993-2022. On voit que le niveau des bassins ne peut être maintenu : à partir de 1995, le volume d'eau dans le bassin 1 n'atteint plus jamais sa valeur normale. Il reste sous 3000 m³ durant les années où la pluviométrie

est faible (2002-2007, 2010-2012, 2015, 2017, 2022). Il est au mieux rempli à environ 2/3 de son maximum et pour seulement 3 années sur 27. La bassin 2 reste continuellement presque vide malgré l'apport direct ou indirect par les précipitations. Cette simulation montre que le surf parc ne peut pas être autonome en eau sous l'hypothèse médiane T30+1°C, 50% de pertes additionnelles. Les calculs effectués pour les hypothèses minimale et maximale (annexe A1) montrent que l'autonomie du parc ne peut pas être réalisée même sous l'hypothèse la plus favorable (hypothèse basse de pertes additionnelles en eau, T30+0°C, +30%) (fig. A1, graphe supérieur). Il devrait donc être mis hors service tous les ans. Sous l'hypothèse la plus favorable, le bassin principal n'aurait été fonctionnel que quelques jours par an et pour 6 années sur 20 seulement. Sous l'hypothèse la plus défavorable, le surf parc ne serait jamais en condition opérationnelle.

Cas 2 « parc fonctionnel » : bassins 1 et 2 maintenus à niveau

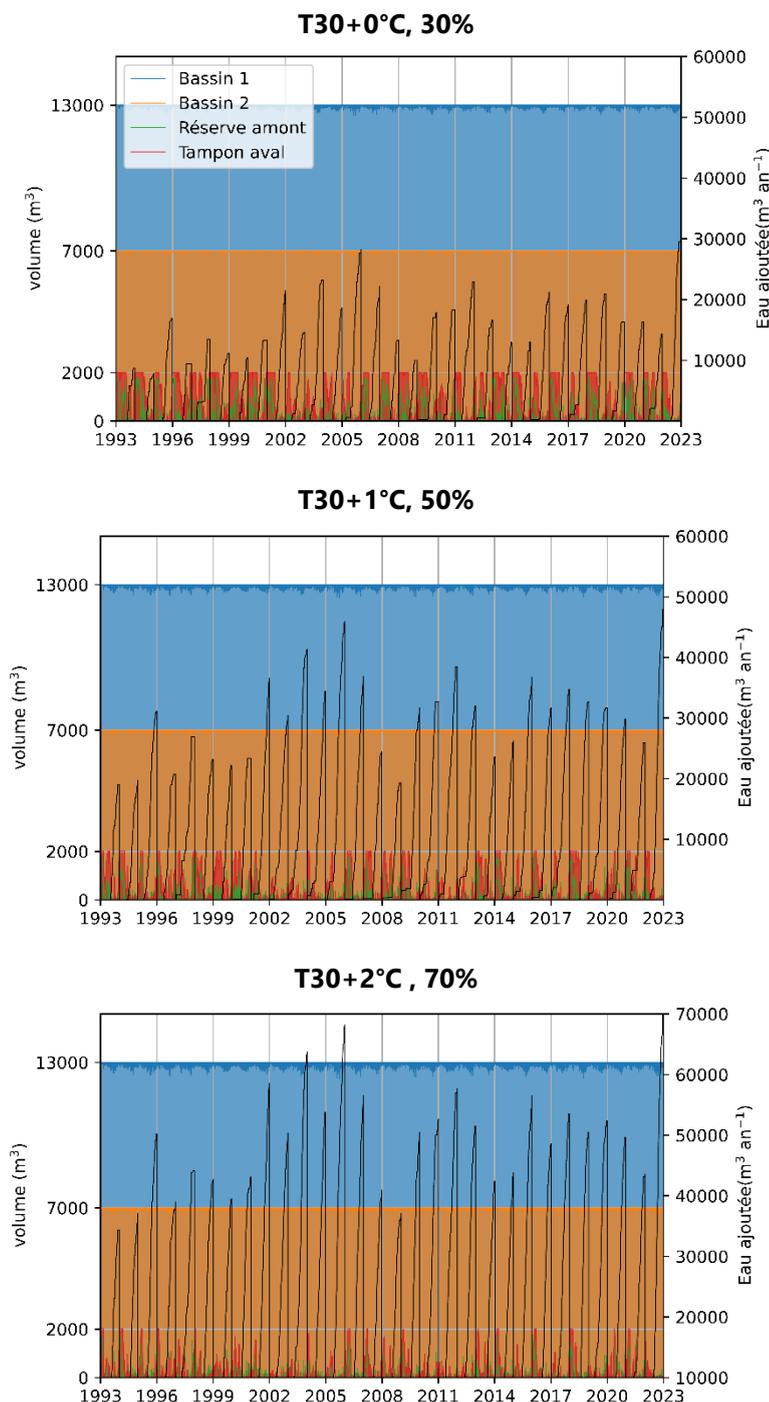


Figure 4. Évolution du volume d'eau des quatre réservoirs et de l'apport en eau de ville nécessaire dans le cas de fonctionnement (2). De haut en bas, hypothèses T30+0°C, avec 30% de pertes en eau additionnelles, T30+1°C, 50% et T30+2°C, 70%. La courbe noire représente l'apport en eau de ville cumulé sur chaque année.

La figure 4 présente l'évolution du volume des réservoirs et bassins du parc pour le cas (2) et sous trois hypothèses de paramétrage : l'hypothèse la plus conservatrice pour les pertes en eau (graphe supérieur), l'hypothèse médiane (graphe du milieu) et l'hypothèse haute (graphe inférieur) d'évaporation et pertes en eau maximales. Dans ce cas, correspondant au fonctionnement optimal du parc, on voit que le maintien à un niveau opérationnel des deux bassins du parc nécessite un apport d'eau de ville systématique et que cet apport est sensible à la gamme d'hypothèses envisagées.

Le volume d'eau de ville nécessaire au fonctionnement du parc pour les trois hypothèses de paramétrage est représenté en figure 5. La valeur moyenne 1993-2022 de l'apport en eau potable nécessaire au fonctionnement du parc s'élève à 16 794, 30 407 et 49 463 m³ suivant les trois hypothèses respectivement. La valeur maximale atteinte est de 71 560 m³ en 2022. On voit aussi que l'apport nécessaire en eau potable augmente au cours du temps sous l'effet du réchauffement climatique (droites de régression, fig. 5). Cette augmentation sera vraisemblablement prolongée voire même accélérée dans le futur.

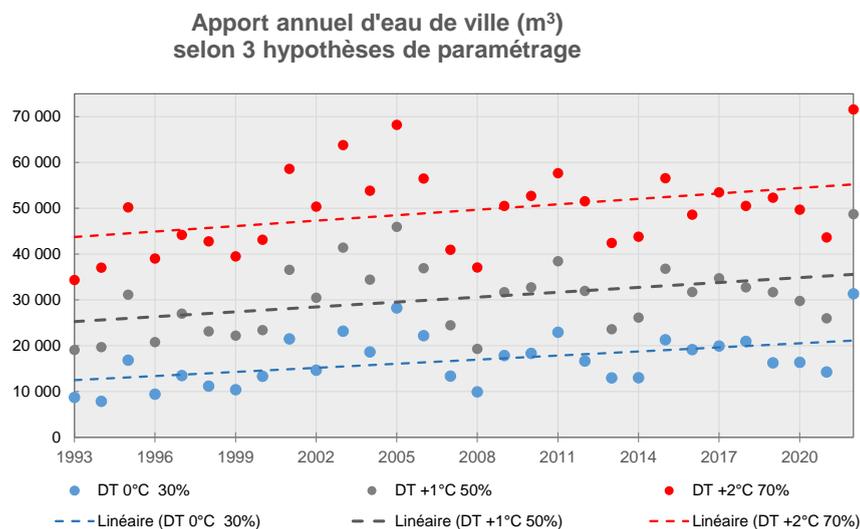


Figure 5. Évolution 1993-2022 du volume d'eau de ville nécessaire au fonctionnement du surf parc selon trois hypothèses de paramétrage.

Sous l'hypothèse haute de pertes en eau majorant l'évaporation de +70%, le besoin en eau potable dépasserait 50 000 m³ une année sur deux.

Effet de la température de l'eau et des pertes additionnelles sur le bilan hydrique du surf parc.

Pour évaluer la sensibilité de nos calculs à la température de surface de l'eau des bassins et au pourcentage de pertes additionnelles adopté, nous avons calculé les valeurs moyennes des composantes du bilan hydrique du parc sous trois hypothèses de température de l'eau des bassins, T30, T30+1°C et T30+2°C et pour le cas d'un parc fonctionnel (2). Le tableau 1 donne ces trois calculs ainsi que les deux cas extrêmes envisagés : l'hypothèse de pertes en eau minimum, T30+0°C avec 30% de pertes additionnelles, et l'hypothèse de pertes maximum, T30+2°C avec 70% de pertes en eau additionnelles. Nous avons représenté les précipitations et l'évaporation annuelles dans les deux premières colonnes. Elles sont exprimées en litre d'eau par m² (ou mm). Les colonnes suivantes représentent le bilan annuel moyen du parc de 1993 à 2022 en m³ d'eau par an. Les données de l'étude INGETECH sont également indiquées pour comparaison.

Tableau 1. Moyennes annuelles des composantes du bilan hydrique du surf parc pour le cas 2 pendant la période 1993-2022 sous cinq hypothèses de température de la surface de l'eau des bassins et de majoration de l'évaporation par les pertes additionnelles.

	Majoration	T eau - Tair	Bilan du parc (m ³ an ⁻¹)						
			Précipitations mm an ⁻¹	ETR mm an ⁻¹	Pertes			Apports	
					Évaporation et pertes additionnelles	Drainage amont	Drainage aval	Pluie efficace	Eau ajoutée depuis le réseau
période 1993-2022	30%	0	899	2 066	36 333	595	3 730	23 748	16 794
	50%	0	899	2 066	41 923	449	3 252	23 748	21 760
		+1 °C	899	2 601	52 784	233	1 257	23 748	30 407
		+2 °C	899	3 168	64 276	122	505	23 748	41 032
	70%	+2 °C	899	3 168	72 846	87	400	23 748	49 463
Ingetech (1991-2020)			925	987	12 983	4 221	11 097	30 147	0

Dans ce tableau, l'ETR est l'évaporation calculée selon Shah (2023), le « drainage amont » est le flux d'eau en excès provenant de la réserve amont et le « drainage aval » est le flux d'eau en excès débordant de la réserve tampon aval. Les pluies efficaces sont celles qui sont effectivement récupérées pour remplir les réservoirs et bassins. Elles se décomposent entre l'apport dérivé des précipitations tombant sur les toitures qui représente 48,8% des pluies efficaces et celles tombant directement sur les bassins qui comptent pour 51.2%

Le bilan hydrique du parc est déficitaire sous toutes les hypothèses de température envisagées. Pour maintenir le bassin principal à niveau, il est nécessaire de l'alimenter à partir du réseau d'eau potable pour des volumes annuels moyens allant de 16 794 à 49 463 m³ selon les hypothèses retenues.

Conclusions

Nous observons en premier lieu qu'il existe peu de modèles de calcul bien validés pour le cas de bassins de loisir de plein air, et aucun pour les bassins dédiés à l'usage exclusif de la pratique du surf. Deuxièmement, l'incertitude sur les données quantitatives indispensables au calcul de l'évaporation de l'eau des bassins est élevée. Ce constat nous a amené à considérer une large gamme de valeurs pour les paramètres les plus incertains. Nous avons adopté le paramétrage le plus conservatif pour le bilan hydrique du parc en ce qui concerne :

- L'atténuation de la vitesse de vent au-dessus des deux bassins ; celle-ci pourrait être plus faible, et donc l'évaporation plus élevée, selon l'exposition au vent du parc.
- La température de surface de l'eau qui pourrait atteindre une amplitude plus importante et présenter des valeurs plus élevées en été, alors que la demande évaporative est maximale.

Nous avons aussi supposé que les pertes en eau dues aux fuites du réseau étaient nulles. Nos calculs sont appuyés sur des données météorologiques ou hydrologiques observées localement de 1993 à 2022.

Il ressort que même sous les hypothèses les plus favorables pour le fonctionnement du parc (précipitations élevées et évaporation faible), le bilan annuel du surf parc est systématiquement déficitaire et nécessiterait donc un complément en eau de ville qui dépasserait 50 000 m³ une année sur deux dans le cas de l'hypothèse la plus défavorable. Par rapport à notre étude, les données de l'étude INGETECH sous-estiment les pertes en eau de 92% pour notre hypothèse médiane : l'évaporation est sous-estimée de 163% et les pertes additionnelles liées à l'effet des vagues, de l'aspersion et des sorties de bassin sont ignorées. Cette étude surestime aussi les apports en eau de 27% par rapport à notre calcul. Ces différences sont commentées ci-dessous, par ordre d'importance :

- L'étude INGETECH sous-estime l'évaporation des bassins 1 et 2. La formule d'évaporation que nous avons utilisée (Shah, 2018, 2023), dérivée directement de la physique des échanges eau-atmosphère, est une référence basée sur des données observées et utilisée pour les bassins extérieurs. Elle produit des valeurs supérieures aux modèles semi empiriques proposés par Webb et Zhang (1997) ou Beaufort et al. (2016) pour l'évaporation depuis des cours d'eau (rivières) mais elle est conforme aux modèles couramment utilisés pour des bassins de loisir et a été éprouvée avec différents jeux de données observées. Selon les hypothèses examinées, elle aboutit à une valeur supérieure de +109% à +221% à la valeur d'ETP utilisée dans le calcul du rapport INGETECH. Le calcul adopté dans le rapport INGETECH correspond à l'évapotranspiration d'une pelouse (Monteith, 1965) et non d'une surface d'eau en mouvement avec des vagues déferlantes. Il ne peut donc pas être utilisé dans le cadre d'un bassin à vagues.
- De plus, les pertes additionnelles (évacuation d'eau par les pratiquants sortants, évaporation directe des gouttelettes créées par les vagues, eau évaporée depuis les projections sur les zones périphériques) ne sont pas prises en compte dans l'étude INGETECH.
- L'efficacité des pluies collectées par la toiture des bâtiments B1 et B2 est surestimée de 48% par INGETECH. L'efficacité de 0,8 dans le calcul INGETECH correspond à des toitures lisses et en pente et ne peut pas s'appliquer au surf parc. La valeur de référence préconisée par les services du Ministère du Développement durable et du Ministère de la Santé (2009) pour les toitures en terrasse est de 0,60. Elle est cohérente avec les références disponibles pour les toitures horizontales couvertes de graviers (Farreny et al. 2011) qui, d'après des mesures in situ, ont estimé à 0,62 l'efficacité d'un toit terrasse couvert de graviers hors filtrage. En conformité avec le guide édité par les deux ministères, une valeur de 0,54 a été utilisée dans nos calculs pour tenir compte de la perte additionnelle liée au filtrage de l'eau de pluie (10%).

La surestimation de l'efficacité utilisée par INGETECH conduit à une erreur sur les apports totaux en eau pluviale au parc de +26,9%.

Enfin, nous insistons sur l'importance de considérer le climat futur. Au-delà de l'année 2025, le climat de Canéjan ne peut pas être considéré comme la simple répétition du climat passé, même récent. Les relevés météorologiques consultables (par exemple sur le site Info-Climat compilant les observations de Météo-France) montrent bien un réchauffement significatif et une diminution de la hauteur des précipitations notamment en été pour les années récentes (fig. 6). Cette tendance explique l'évolution temporelle positive des besoins en eau du parc observée en figure 5 pour tous les cas d'hypothèses envisagées. Elle est conforme aux prédictions des modèles météorologiques mobilisés pour les travaux du G.I.E.C sur l'accélération du réchauffement climatique dans les années futures. Il est hautement probable que l'évaporation augmenterait en été simultanément avec une baisse des précipitations estivales, ce qui conduira à une aggravation du déficit hydrique du parc et à une augmentation de sa consommation en eau de ville, tout particulièrement en été et en automne où les besoins en eau sont les plus importants.

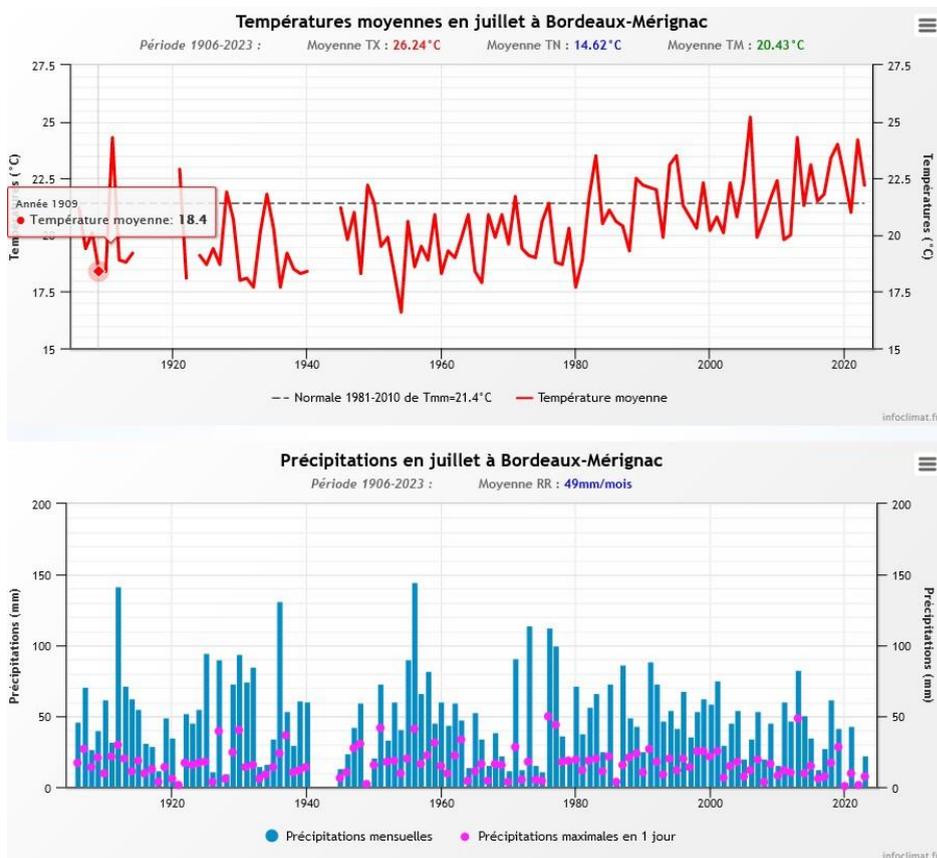


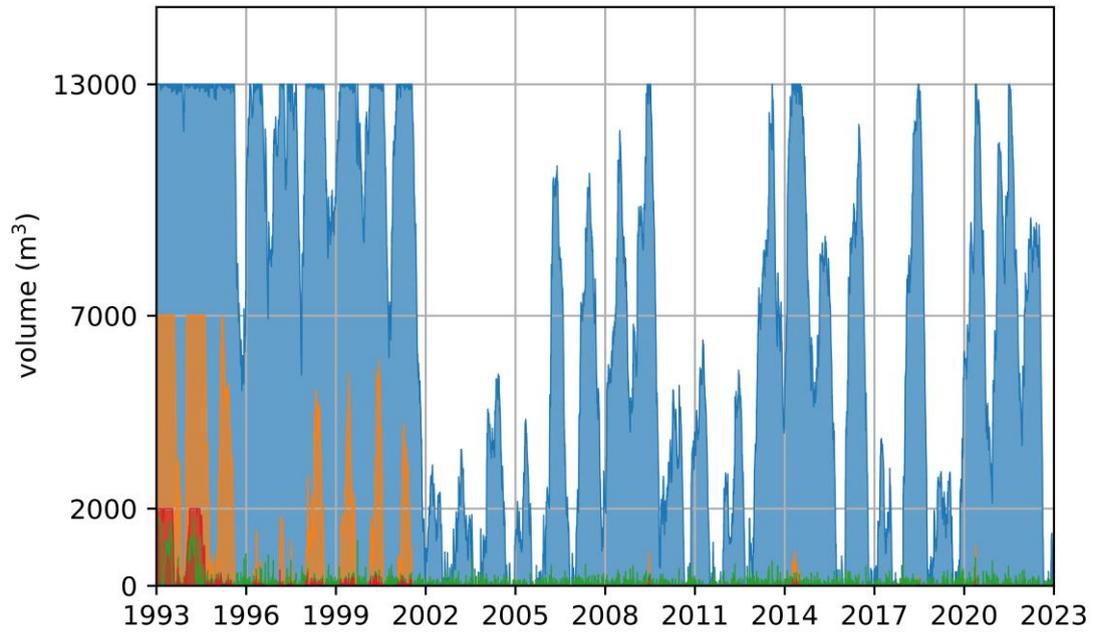
Figure 6. Évolution de la température et de la pluviométrie du mois de juillet observées à la station de Mérignac depuis 1909. Copie d'écran du site Info-Climat.

Références citées.

- Beaufort, A., Curie, F., Moatar, F., Ducharne, A., Melin, E., and Thiery, D., 2016. T-NET, a dynamic model for simulating daily stream temperature at the regional scale based on a network topology. *Hydrol. Process.*, 30: 2196–2210. doi: [10.1002/hyp.10787](https://doi.org/10.1002/hyp.10787).
- Bernhard Maïté, Marc Olivier, Quilichini Emmanuel, Castaing-Lasvignottes Jean. (2018). Etat de l'art de la modélisation de l'évaporation de l'eau des piscines et comparaison expérimentale. Juin 2018, Congrès Français de Thermique, PAU.
- Brunet C., 2012. Étude du bassin versant de l'Eau Bourde et étude d'impact des rejets d'eaux pluviales. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2012. dumas-01655139. https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01655139v1/file/BRUNET_rapport.pdf
- Delgado, A., C. Gertig, E. Blesa, A. Loza, C. Hidalgo, and R. Ron. 2016. Evaluation of the variability of wind speed at different heights and its impact on the receiver efficiency of central receiver systems. *AIP Conference Proceedings* [1734](https://doi.org/10.1063/1.4949063): 30011. doi:10.1063/1.4949063
- FAO, 1990. Guideline for calculating crop irrigation requirements. <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0r.htm#fao%20technical%20papers>
- Farreny, R., T. Morales-Pinzón, A. Guisasola, C. Tayà, J. Rieradevall, and X. Gabarrell, 2011, Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 2011. **45**(10): p. 3245-3254 DOI: 10.1016/j.watres.2011.03.036.
- González Gallero Francisco Javier, Ismael Rodríguez Maestre, Juan Luis Foncubierta Blázquez & J. Daniel Mena Baladés, 2021. Enhanced CFD-based approach to calculate the evaporation rate in swimming pools, *Science and Technology for the Built Environment*, 27:4, 524-532, DOI: [10.1080/23744731.2020.1868219](https://doi.org/10.1080/23744731.2020.1868219)
- Jodat, A., Moghiman, M. & Shirkhani, G., 2013. An experimental investigation on the effects of surface gravity waves on the water evaporation rate in different air flow regimes. *Heat Mass Transfer* **49**, 1823–1830 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00231-013-1211-2>
- Lovell D., T. Rickerby , B. Vandereydt, L. Do, K. Srinivasan, Chua. 2019. Thermal performance prediction of outdoor swimming pools, *Building and Environment*, Volume 160, August 2019, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106167>
- Ministère du Développement durable et Ministère de la Santé, 2009. Systèmes d'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment - [Règles et bonnes pratiques à l'attention des installateurs](#), août 2009.
- Monteith J.L., 1965. Evaporation and the environment. *Symposium of the Society for Experimental Biology*, 19,205-34.
- Ouellet, V., Secretan, Y., St-Hilaire, A. and Morin, J., 2014. Water temperature modelling in a controlled environment: comparative study of heat budget equations. *Hydrol. Process.*, 28: 279-292. <https://doi.org/10.1002/hyp.9571>
- Portail Climatik, INRAE, <https://agroclim.inrae.fr>
- Portail DRIAS, Météo France. <http://www.drias-climat.fr/>
- Portail Naiades, téléchargement 23/11/2023. <https://naiades.eaufrance.fr/acces-donnees#/temperature/resultats?debut=01-01-2022&fin=31-12-2022&communes=33042>
- Quarnstrom E., 2022. Piscines à vagues et évaporation: Pourquoi les pertes en eau ne sont pas uniquement dues au soleil. *Wavepool magazine*. 5p.
- Shah M. M., 2014. Methods for Calculation of Evaporation from Swimming Pools and Other Water Surfaces. *ASHRAE*, 2014, vol. 120 part. 23-17
- Shah M.M., 2018. Improved model for calculation of evaporation from water pools, *Science and Technology for the Built Environment*, DOI: 10.1080/23744731.2018.1483157
- Shah M.M., 2023 Further development and verification of the model for evaporation from pools, *Science and Technology for the Built Environment*, 29:1, 75-85, DOI: 10.1080/23744731.2022.2133854
- Webb B.W. and Zhang Y. 1997. Spatial and seasonal variability in the components of the river heat budget. *Hydrological Processes*, 11, 79-101.

Annexes.

Δ température = 0°C,
Pertes additionnelles = + 30%



Δ température = +2°C,
Pertes additionnelles = + 70%

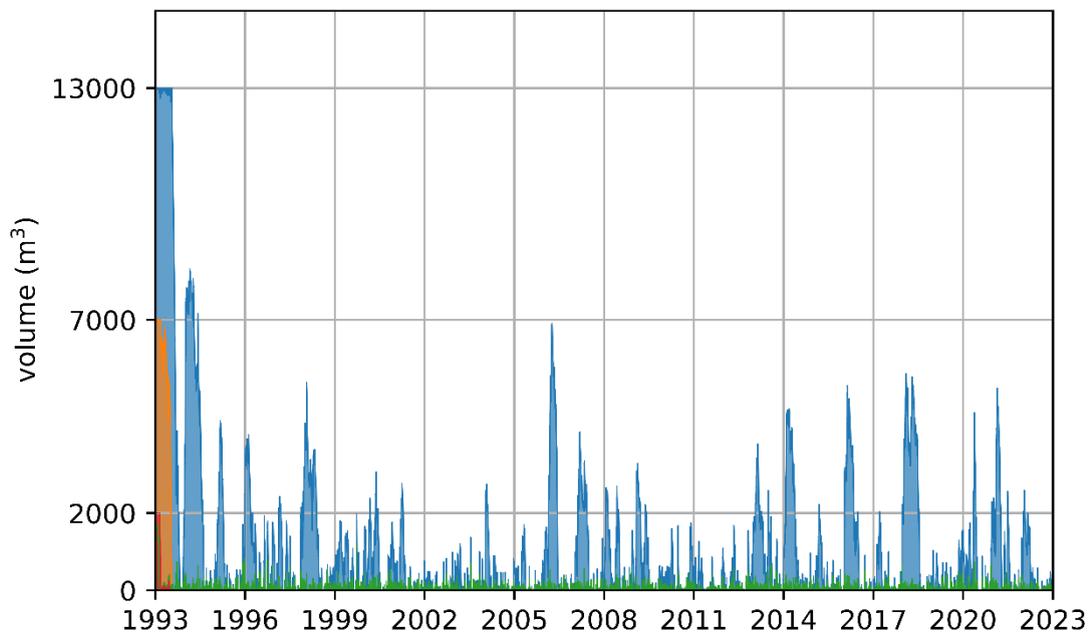


Figure A1. Évolution du volume des bassins et réservoirs du surf parc de 1993 à 2022 pour le cas (1) « Parc autonome » selon les hypothèses minimale (graphique supérieur) et maximale (graphique inférieur) de température de surface et de pertes additionnelles détaillées en tableau 1.