

CSD INGENIEURS SA
Avenue des Sports 14
CH-1400 Yverdon-les-Bains
t +41 24 424 95 00
f +41 24 424 95 01
e yverdon@csd.ch
www.csd.ch

CSD INGENIEURS 
INGÉNIEUX PAR NATURE



**SITE D'ESCALE POUR LES LIMICOLES AUX QUATRE-VINGTS
(YVERDON-LES-BAINS)**

Inondation automne 2020

Yverdon-les-Bains, le 11 juin 2021
VD07182.700



vogelwarte.ch

**Association
Escalaes Limicoles – Agriculture**



www.nosoiseaux.ch

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	4
1. LE PROJET	5
1.1 Contexte	5
1.2 Objectifs	5
1.3 Durée de l'essai	5
2. TRAVAUX ET MESURES EFFECTUÉS	6
2.1 Autorisation	6
2.2 Pompage et système d'alimentation en eau	6
2.3 Alimentation électrique	7
2.4 Aménagement du terrain	7
2.4.1 Diguettes	7
2.4.2 Drainages	7
2.5 Piézomètres	8
2.6 Cartographie de la zone inondée	9
2.7 Météorologie	9
2.8 Comptage journalier des oiseaux	9
3. RÉSULTATS : HYDROLOGIE	10
3.1 Débits d'alimentation en eau	11
3.1.1 Alimentation en eau 2020	11
3.1.2 Comparaison avec les inondations précédentes	11
3.1.3 Effet des drainages	12
3.1.4 Fin de l'alimentation en eau par pompage	13
3.2 Niveaux piézométriques	13
3.2.1 Situation à l'extérieur du site (P06 et P10)	13
3.2.2 Situation à l'intérieur du site (P08)	14
3.3 Surface inondée	14
3.4 Synthèse hydrologique	15
4. RÉSULTATS : BIOLOGIE	16
4.1 Physionomie du passage sur le site d'escale	16
4.2 Mise en perspective dans un contexte national	17
4.3 Observations d'autres espèces d'oiseaux	18
5. COMMUNICATION	19
6. INONDATIONS FUTURES	20

7. CONCLUSIONS	20
8. RÉFÉRENCES	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Statistiques d'apports en eau de pluie et par pompage pour les trois inondations contrôlées de 2017, 2019 et 2020.	12
Tableau 2	Passage par espèce : total, comptages maximaux et dates correspondantes, première et dernière date d'observation.	17

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Photo de l'installation d'alimentation en eau.	6
Figure 2	Piézomètres équipés de sondes de lecture du niveau de la nappe et transmission à distance GSM.	8
Figure 3	Position des piézomètres P6, P8 et P10 installés pour l'inondation de l'automne 2020.	9
Figure 4	Observations de limicole de l'automne 2020 (1 ^{er} août au 5 novembre) dans la région des Quatre-Vingts et périmètres pris en compte pour les analyses.	10
Figure 5	Alimentation en eau (débit de pompage, débit précipité, somme des apports) et fluctuation du niveau de la nappe pendant la période d'observation (25.07.2020-14.11.2020). Le graphique est reporté en plus grand format en Annexe A.	11
Figure 6	Extrait des données mesurées de niveaux d'eau, de débits pompés et de précipitations, 20.10.2020 au 05.11.2020, c'est-à-dire la fin de la période d'inondation (pompage arrêté le 23 octobre à 13h).	13
Figure 7	Effectifs quotidiens (somme des maximums de chaque espèce) de limicoles observés sur le site des Quatre-Vingts. Les lignes rouges indiquent le début et la fin de la période d'inondation.	16
Figure 8	Somme des maximums par espèce et par jour sur l'ensemble de la période d'inondation (1 ^{er} août au 5 novembre). Petits points noirs : somme inférieure à 10. Points gris : somme entre 10 et 1000. Cercle rouge : somme supérieure à 1000.	18
Figure 9	Panneau d'information de l'inondation 2020	19

ANNEXES

Annexe A	Graphique de l'alimentation en eau et du niveau piézométrique	24
----------	---	----

PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD déclinera toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

Le site d'escale pour les limicoles aux Quatre-Vingts se situe sur le territoire et sur la propriété de la Commune d'Yverdon-les-Bains. Il s'agit d'un projet expérimental couvrant les années 2015 à 2020. Il est dirigé par l'association Escales Limicoles et Agriculture. Cette période a permis de connaître et de régler les aspects techniques et de mettre en évidence l'usage du site d'escale par les limicoles. Les expériences acquises ont débouché sur la pérennisation du site d'escale de 2021 à 2030 sous la forme d'une convention tripartite (Commune d'Yverdon-les-Bains, Stoll Production SA et Escales Limicoles et Agriculture).

Le projet est soutenu par les institutions suivantes : Ville d'Yverdon-les-Bains (Service des Travaux et de l'Environnement et Agenda 21), Canton de Vaud (Direction générale de l'Environnement, Division Biodiversité et Paysage), Confédération (Office fédéral de l'Environnement), Station ornithologique suisse de Sempach, Société Nos Oiseaux, Fondation Montagu, Fondation MAVA.

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats de la 3^{ème} inondation contrôlée du site d'escale pour les limicoles à Yverdon-les-Bains, qui a eu lieu entre le 31 juillet et le 31 octobre 2020 (93 jours). Cette opération a permis notamment d'étudier l'impact des drainages réalisés au printemps 2020 sur le site d'escale.

Pour cette 3^{ème} inondation, le pompage a eu lieu dans le Canal Occidental et non pas dans la Thielle, comme ce fut le cas en 2017 et 2019.

Les apports totaux sur la période d'inondation ont été de 53% plus importants qu'au printemps 2019. Les précipitations ont été 64% plus importantes, mais le solde du débit a dû être compensé par le pompage dans le Canal Occidental (+50%). Deux causes probables peuvent être identifiées : d'une part, la période estivale et les températures plus élevées causent une plus forte évapotranspiration ; d'autre part, il n'est pas exclu que les drainages réalisés sur le site, ainsi que le drain posé longitudinalement à la digue côté Yverdon, aient causé de plus fortes pertes par infiltration dans le sol, notamment via le perçage de la couche d'argile. Une comparaison sur une inondation printanière avec une météorologie similaire serait nécessaire pour pouvoir identifier les causes exactes de cette augmentation du besoin en eau.

Grâce aux drainages mis en place sur la parcelle adjacente côté Yverdon et notamment au drain le long de la diguette, le niveau de la nappe a toujours été très bas et constant pendant la presque totalité de la période d'inondation. Seules les fortes précipitations du 23 octobre ont fait remonter le niveau de la nappe presque jusqu'en surface pour une courte période.

Côté Orbe, le niveau de la nappe est remonté de 50 cm avec l'inondation du site d'escale. Le niveau de la nappe est redescendu au même niveau que pour la parcelle côté Yverdon dès le 17 septembre, probablement à cause de la mise en route des drainages (information non vérifiée auprès de l'exploitant).

Au vu des relevés aux piézomètres à l'extérieur du site d'escale, aucune mesure supplémentaire pour limiter les inondations en dehors du site ne paraît nécessaire.

Un nombre important de limicoles ont utilisé le site d'escale en automne 2020, soit 7242 limicoles-jour. La diversité a de nouveau été importante avec 23 espèces observées. La Bécassine des marais a été très nombreuse avec jusqu'à 95 individus sur le site le 30 octobre et 34% du total des limicoles-jour. Suivent le Bécasseau variable et le Chevalier sylvain.

L'importance du site dans un contexte national a également à nouveau été considérable. Sur l'ensemble des espèces de limicoles, le site se place en 3^{ème} position par son importance derrière le Flachsee d'Unterlunkhofen AG et le Fanel BE. Mais en ne tenant compte que des limicoles migrateurs (en enlevant le Courlis cendré et le Vanneau huppé), le site d'Yverdon prend largement la tête avec trois fois plus de limicoles que le site suivant.

1. Le projet

1.1 Contexte

Le présent rapport fournit les résultats de la troisième inondation contrôlée à l'automne 2020 du site d'escale pour les limicoles¹ dans la Plaine de l'Orbe, sur la parcelle 842 de la commune d'Yverdon-les-Bains. Ce site a une surface de 5 ha. Il s'agit de la dernière inondation contrôlée du site d'escale de la période d'essais 2015-2020.

Suite aux résultats de la 2^{ème} inondation contrôlée (printemps 2019), il a été constaté que le fonctionnement de la diguette imperméable côté Yverdon n'était pas satisfaisant. En effet, une remontée du niveau d'eau presque jusqu'à la surface avait été constatée sur plusieurs mètres en dehors du site d'escale.

Les drainages du terrain côté Yverdon, ainsi que du site d'escalas, ayant été refaits avant cette troisième inondation, il a été convenu entre ELA, la commune d'Yverdon-les-Bains et l'exploitant agricole, qu'aucune mesure complémentaire ne serait mise en place afin de pouvoir étudier l'effet des nouveaux drainages sur cette inondation externe.

1.2 Objectifs

Les objectifs de l'inondation contrôlée de l'automne 2020 sont les suivants :

- Vérifier l'attrait du site pour les limicoles et les autres oiseaux migrateurs pendant l'entier de la migration post-nuptiale (migration automnale) ;
- Étudier l'impact des drainages réalisés sur le site d'escalas et sur la parcelle côté Yverdon.

1.3 Durée de l'essai

L'inondation estivale a démarré le 31 juillet et s'est terminée le 31 octobre 2020, conformément à la convention liant l'association ELA, la Commune d'Yverdon-les-Bains et les exploitants (Stoll Frères SA). Les conduites et la pompe permettant l'alimentation du site d'escale ont été posées fin juillet. L'alimentation en eau a été interrompue le 22 octobre. Le niveau de la nappe à l'intérieur du site est resté au-dessus de la surface jusqu'au 5 novembre au moins, à cause des précipitations.

¹ Les limicoles sont des petits échassiers migrateurs (chevaliers, bécasseaux, échasses, avocette, etc.) faisant escale en Suisse lors de leurs déplacements entre le Nord de l'Europe (où ils nichent) et l'Afrique (où ils passent l'hiver) deux fois par an, au printemps (mars à mai) et en automne (août à octobre). Durant ces déplacements, les étendues d'eau peu profondes, vastes, dépourvues de végétation et bien dégagées, présentes parfois dans les champs agricoles, exercent une forte attraction sur ces oiseaux car elles leur permettent de se nourrir et de se reposer (sites d'escalas).

2. Travaux et mesures effectués

2.1 Autorisation

Une **demande d'autorisation de pompage pour un débit de 50 l/s** a été formulée au cours d'une séance de coordination le 11 mars 2020 auprès de M. Moor, chef du secteur 1 de la DGE-EAU. L'autorisation de pompage dans la Thielle a été délivrée par courrier en date du 3 juin 2020. En raison des contraintes liées au chantier ECF Thielle (obligation pour la conduite d'eau de traverser le chemin agricole par un portique), une séance a eu lieu le 16 juillet 2020 au point X (Canal occidental) avec M. Moor et l'entreprise Zmoos. Contrairement aux autres années, le pompage a été autorisé (e-mail du 16 juillet 2020 du chef du secteur 1) et réalisé dans Canal Occidental, sous la passerelle juste en amont du Point X.

L'alimentation du site d'escale a été réglée en fonction des observations de terrain. Le débit apporté a été réglé afin de satisfaire les contraintes suivantes :

- La surface inondée visée et optimale sera de 2.6 ha par 430.62/430.63 msm (surface totale de la parcelle 5 ha) ;
- L'altitude de la nappe d'eau n'excédera pas 430.80 msm ;
- Dans les cultures adjacentes, la nappe devra se situer si possible au moins 40 cm sous la surface du sol afin de ne pas gêner les travaux agricoles (altitude moyenne du site d'escale 430.67 msm), sauf en cas de hautes eaux naturelles ;
- La présence d'eau en surface ou à faible profondeur ne doit pas poser de problèmes aux travaux de l'ECF Thielle (zone de stockage des palplanches ; piste à l'extérieur des nouvelles digues de la Thielle).

2.2 Pompage et système d'alimentation en eau

Le système de pompage mis en place pour cette troisième période d'inondation est présenté à la Figure 1.



Figure 1 Photo de l'installation d'alimentation en eau.

La pompe (pompe Grindex Major N 2400lpm ; 400V – 8kW – 12A) a été installée par l'entreprise Zmoos SA dans le Canal Occidental, ancrée à la passerelle en amont du Point X.

L'eau a été amenée en bordure du site à inonder (à env. 30 m du lieu de pompage) par des conduites d'alimentation rigides de diamètre DN150. Les premiers mètres étaient composés de conduites flexibles DN150 pour relier la pompe à la conduite rigide.

Afin d'éviter le colmatage de la pompe, une cage de protection en treillis a été posée autour de la crépine.

Un compteur (volume d'eau) a été installé sur la conduite, après la vanne, afin de pouvoir lire les volumes pompés. Il n'y avait pas d'enregistrement automatique des mesures. Ainsi, un carnet a été placé sur site et les opérateurs passaient régulièrement sur site pour marquer l'heure et le volume affiché par le compteur. Ces données ont été annotées à chaque changement de réglage de la pompe ainsi qu'à plusieurs reprises pour contrôle. Pour plus de détails, cf. rapport inondation 2019, CSD ingénieurs.

2.3 Alimentation électrique

L'alimentation électrique a été mise en place par l'entreprise InstaConnect Sàrl à Yverdon. L'alimentation électrique des pompes a été branchée à l'armoire SEY201 située au point X. Un compteur séparé a été mis en place.

La consommation électrique totale pour les 3 mois d'inondation a été de 5856 kWh (du 27 juillet au 27 octobre 2020) selon la facture du 4.12.2020 du Service des Energies de la Ville d'Yverdon-les-Bains. Pour un volume pompé de 46'456 m³, l'énergie nécessaire a donc été de **0.1260 kWh/m³**. Ce chiffre devrait théoriquement être inférieur à celui des 2 opérations précédentes car l'eau a été pompée dans le Canal occidental, beaucoup plus proche du site d'escale (env. 40 m) que le Pont Rouge (env. 300 m).

A titre de comparaison, les 31'838 m³ pompés au printemps 2019 ont nécessité 3'807 kWh, soit **0.1195 kWh/m³**. En 2017, 98'064 m³ ont été pompés avec 5766 kWh, soit 0.587 kWh/m³ ; mais on se souvient que le volume pompé, fondé sur la capacité maximale de la pompe, doit être divisé par 2 (voir chap. 3.1.2); le chiffre de **0.1175 kWh/m³** pour 2017 paraît donc plus réaliste.

2.4 Aménagement du terrain

Pour cette 3^{ème} inondation, les aménagements de surface ont été les suivants :

2.4.1 Diguettes

Aucune mesure supplémentaire n'a été prise par rapport à l'inondation du printemps 2019 (cf. rapport inondation printemps 2019).

2.4.2 Drainages

Le nouveau système de drainage a été réalisé par l'exploitant sur le site d'escales et sur la parcelle du côté Yverdon du site avant cette troisième période d'inondation (hiver 2019-2020). Le drainage de la parcelle côté Orbe avait été réalisé pendant l'inondation 2019.

Afin de limiter les inondations à l'extérieur du site d'escale constatées au printemps 2019, notamment le long de la diguette côté Yverdon, l'exploitant et la commune ont décidé de mettre en place deux « sous-solages » le long des 2 diguettes, à une distance de 16 m de ces dernières. « Ce sous-solage est une chemise drainante en gravier. Cette chemise fait rideau et favorise l'écoulement des eaux en direction des drains » (e-mail du 21 mai 2021 de M. F. Lombardet, ingénieur géomètre, bureau dtp à Orbe). Ce système a été actif pendant toute la période d'inondation et a permis de collecter les eaux résiduelles non retenues par les diguettes.

Le nouveau réseau de drains situé sous le site d'escale permet de gérer le drainage des 5 ha de manière indépendante des 2 surfaces voisines ; ainsi, le drainage du site d'escale a été désactivé pendant la période d'inondation, puis réactivé à la fin de cette dernière.

2.5 Piézomètres

Un réseau de piézomètres a été installé sur le site d'escale ainsi que dans ses environs immédiats, afin de suivre l'évolution du niveau de la nappe. La profondeur des piézomètres était de 1.50 m, car la profondeur normale de la nappe est de 60 cm et elle descend rarement en dessous de 1 m sous la surface.

Au total, 3 piézomètres ont été installés, aux positions entourées en rouge reportées sur la Figure 3 (piézomètres numéro 6 – 8 – 10). Ces piézomètres ont été équipés de sondes de mesure du niveau d'eau et transmission à GSM des données (Figure 2), afin d'avoir en temps réel une mesure du niveau de la nappe (hors site d'escale) et du niveau de l'eau en surface dans le site d'escale.



Figure 2 Piézomètres équipés de sondes de lecture du niveau de la nappe et transmission à distance GSM.

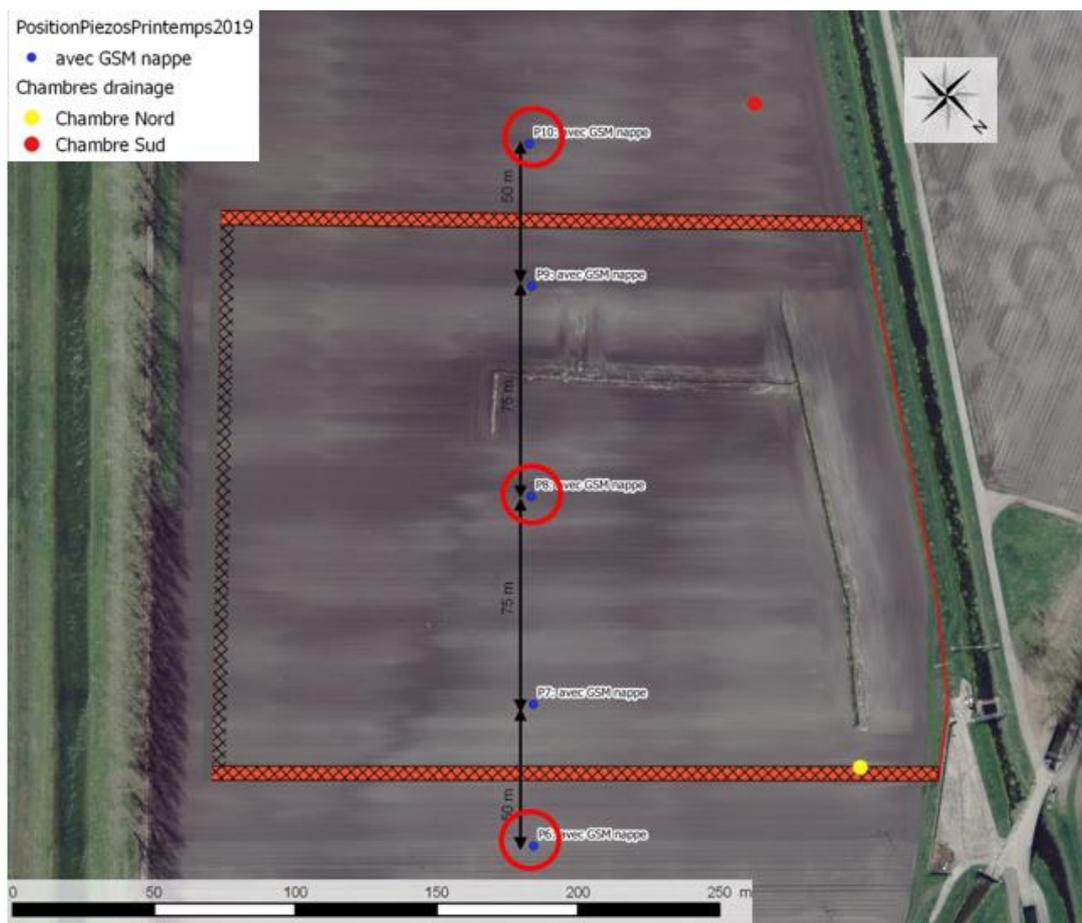


Figure 3 Position des piézomètres P6, P8 et P10 installés pour l'inondation de l'automne 2020.

2.6 Cartographie de la zone inondée

Aucune cartographie de la zone inondée n'a été réalisée.

2.7 Météorologie

Les données de précipitations du 1^{er} juillet au 30 novembre 2020 ont été vérifiées et reportées sur les graphiques. Cela permet de mieux interpréter l'évolution des niveaux d'eau et des surfaces inondées. Les valeurs de précipitation sont exprimées en [l/s] tombés sur la surface du litre d'escale (moyenne journalière) sur les graphiques piézométriques (Figure 5). La source des informations météorologiques est la station MétéoSuisse d'Yverdon-les-Bains située à la STEP d'Yverdon, à 2.6 km au Nord-Est site d'escale.

2.8 Comptage journalier des oiseaux

Afin d'assurer un suivi journalier, l'ornithologue Jean-Claude Muriset a été mandaté pour effectuer au minimum un comptage par jour de tous les oiseaux présents durant toute la période d'inondation (1^{er} août au 5 novembre). Comme en automne 2017 et au printemps 2019, ces données ont été saisies sur la plateforme officielle www.ornitho.ch. À noter que toutes les données saisies sur ornitho.ch (y compris par d'autres ornithologues amateurs) ont été prises en comptes dans les analyses.

Sylvain Antoniazza a traité les données ornithologiques situées dans le périmètre présenté en Figure 4. Les maxima par espèce et par jour ont été calculés, puis ont servi de base aux analyses et autres comparaisons. La plupart des résultats (cf. chap. 4) sont donc donnés en « limicoles-jour » soit, par espèce, le nombre maximum d'individus signalés un jour donné (et, par exemple, leur somme sur une période). Ou lorsque toutes les espèces sont regroupées, la somme sur les espèces (puis éventuellement sur une période).



Figure 4 Observations de limicole de l'automne 2020 (1^{er} août au 5 novembre) dans la région des Quatre-Vingts et périmètres pris en compte pour les analyses.

3. Résultats : hydrologie

Dans le présent chapitre sont présentés les résultats hydrologiques de l'inondation contrôlée de l'automne 2020. Divers aspects sont traités :

- Le débit d'alimentation en eau (pompage et précipitations)
- Les variations de la nappe phréatique

Le graphique de la Figure 5, reporté aussi en Annexe A, présente les informations d'alimentation en eau par pompage et par précipitations, ainsi que les fluctuations du niveau piézométrique dans le site (P08) et en dehors du site (P06 – côté Yverdon, P10 – côté Orbe). Le niveau d'eau visé sur le site d'escale (430.62/430.63 msm) est également reporté par une lignée traitillée rouge.

La période d'inondation a commencé le 31 juillet 2020 et s'est officiellement conclue le 31 octobre 2020 (93 jours). Le suivi de la nappe a été effectué jusqu'au 13 novembre 2020.

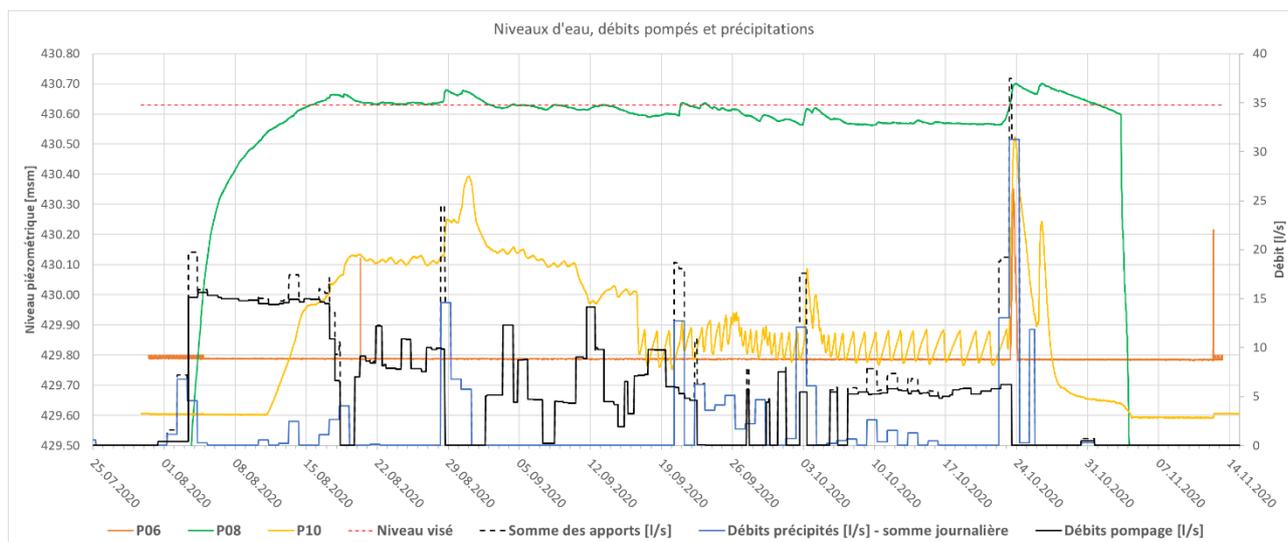


Figure 5 Alimentation en eau (débit de pompage, débit précipité, somme des apports) et fluctuation du niveau de la nappe pendant la période d'observation (25.07.2020-14.11.2020). Le graphique est reporté en plus grand format en Annexe A.

3.1 Débits d'alimentation en eau

3.1.1 Alimentation en eau 2020

L'alimentation du site d'escale a été faite à la fois naturellement, par les précipitations (volume de 15'575 m³), et par pompage dans le Canal Occidental (volume 47'675 m³). La proportion a donc été de 1/4 d'apports par précipitations et 3/4 d'apports par pompage dans le Canal Occidental. Les débits sont reportés sur la Figure 5 (trait noir continu pour le débit pompé ; trait bleu continu pour les précipitations ; traitillé noir pour la somme des deux), ainsi qu'en Annexe A.

Dans un premier temps, la pompe a été enclenchée à sa puissance maximale (env. 16 l/s) entre le 3 et le 17 août, afin de remplir rapidement le site d'escale.

Le niveau d'inondation visé (430.62 msm selon les observations) a été atteint le 15 août, puis légèrement dépassé (430.66 msm), notamment à cause des précipitations. La pompe a ainsi été arrêtée pendant quelques jours.

Afin de maintenir le niveau d'eau, il s'est avéré nécessaire d'activer la pompe la plupart des jours (69 jours sur 93). La plupart des jours restants, des précipitations ont eu lieu. Uniquement 8 jours sur 93 n'ont présenté aucun apport en eau.

3.1.2 Comparaison avec les inondations précédentes

Le Tableau 1 reporte, pour les trois inondations contrôlées, les volumes et débits apportés par précipitation ainsi que par pompage. Pour l'inondation d'été 2020, le débit moyen d'alimentation du site, toute source confondue, a été de **7.60 l/s**. À titre d'information, ce débit a été de 5.14 l/s au printemps 2019.

Les apports pour 2020 sont ainsi de 50% plus élevés que les apports de 2019. La différence d'apports entre 2019 et 2020 peut être expliquée par 2 causes probables :

- L'évapotranspiration est plus importante en été qu'au printemps
- Des pertes ont probablement été causées également par infiltration verticale suite au creusage pour les drainages sur le site d'escale et le long de la digue côté Yverdon

Il convient de rappeler que les valeurs de 2019 et de 2020 sont basées sur un même système de mesure, alors que le débit apporté en 2017 par pompage n'a pas été mesuré, mais estimé. Grâce à l'installation d'un compteur sur la vanne faite pour les inondations de 2019 et 2020, il a été constaté qu'à pleine puissance le système n'était en mesure de fournir que 15-20 l/s (valeur mesurée par le compteur) et non pas 40 l/s (puissance nominale de la pompe). Or, le système d'alimentation et les pertes de charge étant similaires pour les deux inondations 2017-2019, il est très probable que les débits estimés en 2017 (26.84 l/s) doivent être divisés par deux pour mieux correspondre à la réalité (soit des apports moyens de 13-14 l/s).

Statistiques du 31.07.2020 au 31.10.2020	Précipitations	Apports par pompage	Somme des apports
Volume total [m ³]	15'575	47'675	63'250
Volume moyen par jour [m ³]	167	513	680
Débit moyen [l/s]	1.94	5.83	7.60
Débit maximum [l/s]	31.25	15.61	37.46
Part des apports totaux (%)	25%	75%	100%
Nombre de jours avec apports [jours]	50	24	8
Part de jours avec apports [%]	46%	74%	91%

Statistiques du 28.02.2019 au 31.05.2019	Précipitations	Apports par pompage	Somme des apports
Volume total [m ³]	9'470	31'838	41'308
Volume moyen par jour [m ³]	102	342	444
Débit moyen [l/s]	1.18	3.97	5.14
Débit maximum [l/s]	15.68	19.23	22.59
Part des apports totaux (%)	23%	77%	100%
Nombre de jours avec apports [jours]	38	43	69
Part de jours avec apports [%]	41%	46%	74%

Statistiques du 19.09.2017 au 31.10.2017	Précipitations	Apports par pompage	Somme des apports
Volume total [m ³]	1'650	98'064	99'714
Volume moyen par jour [m ³]	38	2'281	2'319
Débit moyen [l/s]	0.44	26.40	26.84
Débit maximum [l/s]	3.13	40.00	42.72
Part des apports totaux (%)	2%	98%	100%
Nombre de jours avec apports [jours]	10	43	43
Part de jours avec apports [%]	23%	100%	100%

Tableau 1 Statistiques d'apports en eau de pluie et par pompage pour les trois inondations contrôlées de 2017, 2019 et 2020.

3.1.3 Effet des drainages

Il est intéressant d'observer que le niveau de la nappe au P06 (côté Yverdon), n'a presque jamais bougé. Nous avons confirmé le bon fonctionnement de la sonde par apport d'eau localisé (pics visibles les 20 août et le 12 novembre). Le fait que le niveau n'ai donc jamais dépassé 429.80 msm, hormis lors de l'évènement pluvieux du 23.10.2020, correspond donc bien à la réalité.

Il est ainsi possible de confirmer que le drainage mis en place le long de la diguette fonctionne de manière très efficace. Au vu des pertes qui avaient été constatées à travers cette digue au printemps 2019, il est même possible que ce drainage soit l'une des causes de l'augmentation du débit nécessaire au maintien du niveau d'eau visé.

Les drainages sous le site d'escale ont probablement aussi un impact sur le débit nécessaire au maintien de l'inondation.

Il n'est cependant pas possible de quantifier les pertes dues aux drainages, car l'évapotranspiration doit également être prise en compte.

Il convient de souligner que le débit total nécessaire au maintien de l'inondation reste bien en dessous du débit estimé pour 2017 (~14 l/s, cf. commentaire au chapitre 3.1.2).

3.1.4 Fin de l'alimentation en eau par pompage

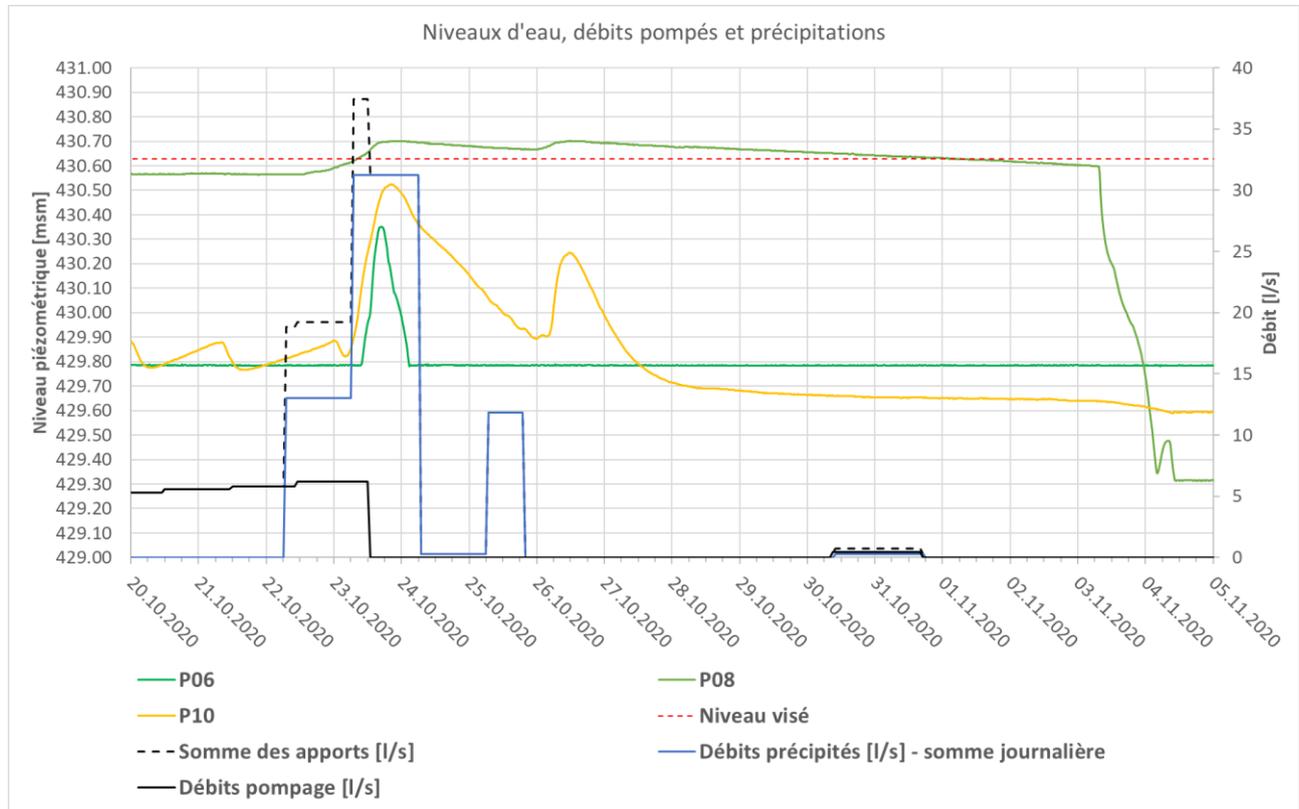


Figure 6 Extrait des données mesurées de niveaux d'eau, de débits pompés et de précipitations, 20.10.2020 au 05.11.2020, c'est-à-dire la fin de la période d'inondation (pompage arrêté le 23 octobre à 13h).

L'alimentation en eau par pompage a été arrêtée le 23 octobre 2020, puisque des précipitations importantes étaient en cours.

Le niveau de la nappe au P08 (dans le site d'escale) est resté élevé jusqu'au mardi 3 novembre 2020. Nous supposons que les drainages du site d'escale ont été activés à ce moment-là, pour faciliter la vidange, qui a été très efficace : moins de 24h ont été nécessaires pour baisser le niveau de la nappe de 1.3 m.

3.2 Niveaux piézométriques

Le réseau de piézomètres a permis de suivre l'évolution du niveau de la nappe à divers endroits du site d'escale. À la différence de la première période d'inondation, seule une rangée de 3 piézomètres (1 à l'intérieur du site et 1 de chaque côté des diguettes, cf. Figure 3), a été installée pour cette troisième inondation contrôlée. Les niveaux piézométriques sont reportés sur la Figure 5 ainsi qu'en Annexe A.

3.2.1 Situation à l'extérieur du site (P06 et P10)

Les deux piézomètres à l'extérieur du site sont très importants afin d'évaluer l'efficacité des diguettes, l'impact potentiel sur les cultures, ainsi que l'impact des nouveaux drainages.

Lors de l'inondation 2019, le niveau d'eau au P06, côté Yverdon, a presque atteint le niveau de la surface du sol. Lors de l'inondation 2020, le niveau de la nappe est resté constant à 429.80 msm pendant la presque totalité de la période d'observation. Seulement les fortes précipitations du 23 octobre 2020 ont eu un impact sur le niveau de la nappe. Cela est vraisemblablement dû à la présence d'un drain longeant la diguette à environ 10 m de distance de cette dernière.

Le P10, côté Orbe, a montré des fluctuations liées à la mise en eau du site. Avant le démarrage de l'inondation, le niveau de la nappe était de 429.60 msm. Lors de la mise en eau, le niveau d'eau a assez rapidement augmenté de 50 cm, pour atteindre 430.10 msm. Ce niveau correspond au niveau observé en 2019 après la réalisation des drainages. La Figure 5 montre un décalage entre le démarrage de l'alimentation en eau (31.07.2020) et la montée du niveau de la nappe au P10, qui a commencé seulement le 11.08.2020. Le niveau de la nappe a commencé à augmenter lorsque le niveau d'eau dans le site d'escale avait presque atteint la surface (<10 cm sous la surface).

Le niveau de la nappe a ensuite subitement diminué de 10 cm, puis encore de 20 cm, pour se stabiliser aux alentours de 429.80-429.90 msm à mi-septembre. Une fluctuation journalière du niveau de la nappe, en relation avec les fluctuations de la Thielle (cf. aussi rapport inondation 2019, CSD ingénieurs), est clairement visible à partir de ce moment.

Le niveau de la nappe au P10 augmente plusieurs fois de plusieurs dizaines de centimètres lors des précipitations. En particulier, le niveau augmente de 70 cm en l'espace de quelques heures avec les précipitations du 23-24 octobre 2020 (30 l/s, soit 54 mm de pluie sur la journée du 23 octobre). Le niveau de la nappe diminue ensuite très rapidement après la fin des précipitations, vu que le niveau d'eau dans le site n'est plus maintenu par un apport par pompage.

3.2.2 Situation à l'intérieur du site (P08)

L'expérience acquise lors de l'inondation 2019 dans la gestion des débits est évidente. Le niveau d'eau dans le site d'escale atteint rapidement (le 15 août) l'objectif visé (430.62-430.63 msm). Le niveau est ensuite pratiquement constant pendant toute la période d'inondation, avec un minimum d'environ 430.53 msm et un maximum de 430.69 msm atteint suite aux précipitations du 23 octobre 2020. Le réglage manuel de la pompe (enclenché – déclenché) fonctionne ainsi très bien.

Le niveau de la nappe diminue rapidement (-1.2 m en même pas 24 h) lorsque les drainages sont enclenchés à la fin de la période d'inondation, le 3-4 novembre 2020. Ainsi, l'assèchement du site suite à la mise en route du drainage est ainsi extrêmement efficace et permet une mise en culture presque immédiate après la fin de la période d'inondation.

3.3 Surface inondée

La surface inondée n'a pas été mesurée pour cette troisième inondation contrôlée.

Il convient néanmoins de rappeler qu'aucune inondation n'a été observée à l'extérieur du site d'escale, ni côté Orbe, ni côté Yverdon.

Le niveau d'eau visé et atteint pour cette inondation a été de 430.62-430.63 cm, comme pour l'inondation 2019. On peut donc partir du principe que les surfaces inondées sont approximativement les mêmes, soit environ 25'000-30'000 m² (cf. rapport inondation 2019, CSD ingénieurs).

3.4 Synthèse hydrologique

Cette 3^{ème} inondation artificielle a donné des résultats positifs, malgré l'augmentation du débit nécessaire pour le maintien de l'inondation. Les principaux constats sont les suivants :

- Le débit moyen d'alimentation en eau, toute source confondue (précipitations et pompage), est de 7.60 l/s, soit 50% de plus que pour l'inondation du printemps 2019 (5.14 l/s). Cette augmentation du débit nécessaire peut être liée à deux causes majeures :
 - L'évapotranspiration est plus importante en été qu'au printemps
 - Des pertes ont probablement été causées également par infiltration verticale suite au creusement des drainages sur le site d'escale et le long de la digue côté Yverdon
- La mise en place d'un drain longeant la diguette côté Yverdon a permis de ne pas avoir d'augmentation du niveau de la nappe au P06.
- L'abaissement du niveau de la nappe dans le site d'escale suite à l'activation des drainages est très rapide (24h pour assécher le site), la mise en culture peut ainsi être faite très rapidement une fois la période d'inondation terminée.

4. Résultats : biologie

Ce chapitre présente les résultats des comptages journaliers d'oiseaux réalisés par Jean-Claude Muriset durant la période d'inondation (1^{er} août au 5 novembre). Les données des autres ornithologues amateurs ayant saisi leurs données sur la plateforme www.ornitho.ch ont aussi été intégrées dans les analyses.

4.1 Physionomie du passage sur le site d'escale

Les trois mois d'inondation ayant couvert presque l'intégralité de la migration post-nuptiale des limicoles, c'est un nombre très important de limicoles qui ont été observé sur le site soit 7242 limicoles-jour (Tableau 2). En comparaison, l'inondation du printemps 2019 n'avait permis de compter « que » 3431 limicoles-jour. Cette différence importante s'explique probablement surtout par deux facteurs : le nombre d'oiseaux est plus important lors de la migration post-nuptiale que lors de la migration pré-nuptiale car la mortalité hivernale sur les oiseaux nés lors de la saison de reproduction n'a pas encore eu lieu. D'autre part, la physionomie des escales est souvent un peu différente en automne qu'au printemps, les escales étant souvent plus longues en automne.

Cette différence est également bien visible lorsque l'on compare la phénologie automnale (Figure 7) à celle du printemps. Assez rapidement au mois d'août, le nombre de limicole sur le site augmente rapidement et reste ensuite à un niveau élevé sur toute la période avec des fluctuations liées aux conditions météorologiques. Au printemps, le nombre de limicole avait augmenté plus lentement en début de saison, mais le pic principal avait été plus marqué (210 limicoles le 23.4 contre « seulement » 127 limicoles le 5.9).

Les Bécassines des marais ont été abondantes cette année avec 34% des limicoles-jour. Suivent le Bécasseau variable et le Chevalier sylvain.

La diversité a également à nouveau été très bonne avec à nouveau 23 espèces observées (Tableau 2).

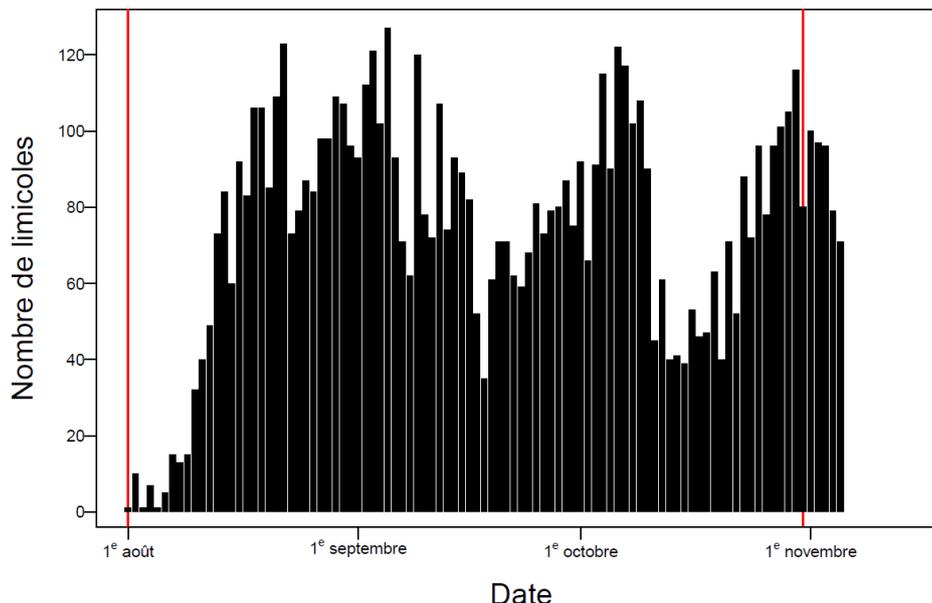


Figure 7 Effectifs quotidiens (somme des maximums de chaque espèce) de limicoles observés sur le site des Quatre-Vingts. Les lignes rouges indiquent le début et la fin de la période d'inondation.

	somme des ind.-jour	max. journalier	date(s) max. journaliers	intervalle de dates
Bécassine des marais	2463	95	30.10	2.8-5.11
Bécasseau variable	1596	65	6.10	6.8-5.11
Chevalier sylvain	919	49	19.8	4.8-30.10
Grand Gravelot	481	20	3.9	13.8-30.10
Combattant varié	438	28	1.10	12.8-4.11
Bécasseau minute	319	10	25.8, 12 et 27.9	13.8-2.11
Petit Gravelot	279	20	5.9	2.8-24.10
Chevalier aboyeur	250	7	31.8	7.8-4.11
Chevalier guignette	166	14	14.8	1.8-25.10
Bécasseau cocorli	81	6	28-29.9	21.8-5.9
Chevalier culblanc	61	8	29.8	4.8-21.10
Pluvier argenté	46	5	4.10	22.9-11.10
Chevalier arlequin	31	5	5.9	2.9-26.9
Bécasseau de Temminck	30	3	3-6.9	22.8-8.9
Vanneau huppé	26	5	10.9 et 10.10	13.8-10.10
Chevalier gambette	15	2	4.9	25.8-14.9
Tourneperre à collier	15	1	25-31.8 et 1-7.9	25.8-7.9
Bécassine sourde	7	1	4, 5, 7, 9, 10, 21, 23.10	4.10-23.10
Bécasseau maubèche	6	1	2-6.9	2.9-6.9
Courlis cendré	6	2	21.8	21.8-1.10
Courlis corlieu	5	1	10, 18, 28, 30.8 et 21.10	10.8-21.10
Barge rousse	1	1	21.9	21.9
Huîtrier pie	1	1	1.9	1.9
SOMME	7242			

Tableau 2 Passage par espèce : total, comptages maximaux et dates correspondantes, première et dernière date d'observation.

4.2 Mise en perspective dans un contexte national

Sur l'ensemble des espèces de limicoles, le site d'Yverdon se place en 3^{ème} position en termes d'escalas de limicoles derrière le Flachsee d'Unterlunkhofen AG (7778 limicoles-jour) et le Fanel BE (7637).

Ces deux premiers sites étant des sites de stationnement importants pour le Courlis cendré et le Vanneau huppé, nous avons refait les analyses sans ces deux espèces. L'effet est alors très impressionnant, le site des Quatre-Vingts reste à un niveau très élevé (7210 limicoles-jour) tandis que le second site devient le Flachsee mais avec seulement 2351 limicoles-jour. **L'importance du site d'escale pour les limicoles strictement migrateurs est donc extrêmement marquée.**

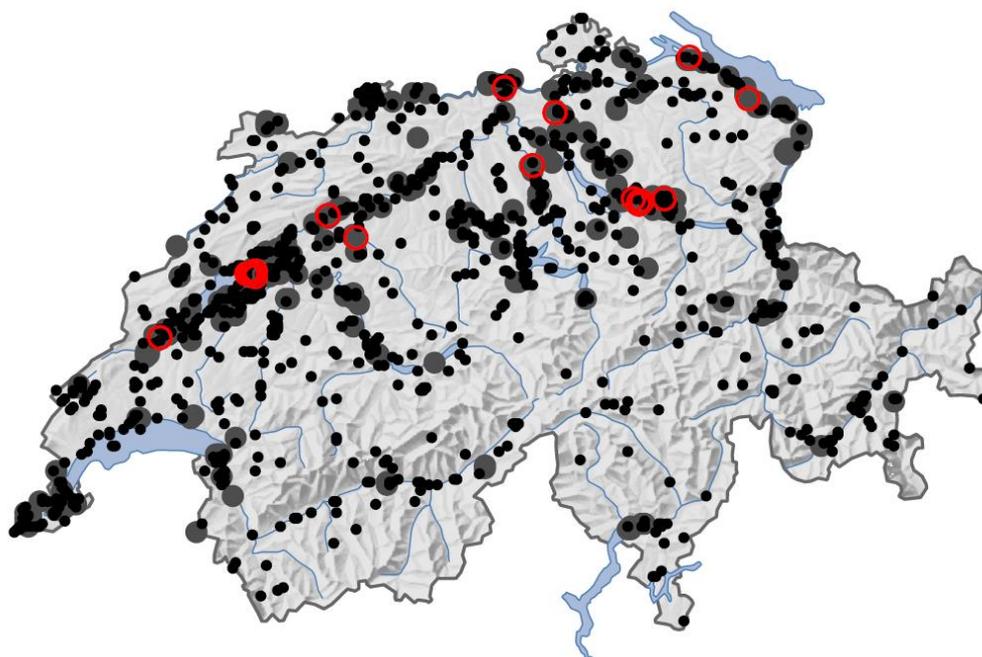


Figure 8 Somme des maximums par espèce et par jour sur l'ensemble de la période d'inondation (1er août au 5 novembre). Petits points noirs : somme inférieure à 10. Points gris : somme entre 10 et 1000. Cercle rouge : somme supérieure à 1000.

4.3 Observations d'autres espèces d'oiseaux

De nombreuses autres espèces ont cette année encore aussi utilisé le site d'escale ou ont été observées par les nombreux ornithologues amateurs présents. Parmi les observations notables, mentionnons : 2 Cigognes noires le 22.8, 3 observations de Guêpiers d'Europe, de nombreuses observations de Gorgebleues entre le 17.8 et le 2.10, plusieurs observations de Phragmites des joncs, au moins 1 Rémiz le 22.10. Notons aussi la capture d'un limicole par un Faucon hobereau le 7.10.

5. Communication

La communication a été organisée de manière ciblée.

Une visite a réuni le 6 octobre 2020 des représentants des administrations vaudoises, fribourgeoises et fédérales de la protection de la nature et de l'agriculture ; le principe d'un dédommagement financier de l'exploitant agricole abritant un site d'escale de limicole sur son domaine a été discuté ; une étude inter-cantonale (VD, FR, SO, BE, ce dernier canton à confirmer) a été initiée à cette occasion (thèmes : inventaire des sites potentiels, identification d'un nouveau type de surface de promotion de la biodiversité (SPB) ou d'une autre source de dédommagement de l'exploitant).

Plusieurs groupes d'ornithologues de toute la Suisse ont organisé des excursions au site d'escale d'Yverdon-les-Bains en raison de la richesse du site en limicoles migrateurs (voir chapitre 4). Plusieurs groupes ont été accueillis par Jean-Claude Muriset.

Un panneau présentant le projet et organisant l'accès au site et le parage des véhicules a été réalisé par Benoît Renevey sur mandat d'ELA et placé en 2 endrois stratégiques.



Figure 9 Panneau d'information de l'inondation 2020

Un article détaillé a paru dans « La Région » le 11 septembre 2020 et un autre dans la revue « Agri » le 9 octobre 2020. Par contre, on n'a pas réussi à motiver le journal de la Coop, ni celui de la Migros, de faire un article présentant l'alternance des cultures maraichères et de l'inondation sur le site au cours de l'année.

Une interview de Jean-Claude Muriset, Pierre Iseli et Christian Roulier ont été réalisés sur place par la radio neuchâteloise (RTN, M. Davis Sanchez) le 28 octobre 2020.

Plusieurs annonces et informations ont été relayées dans les revues ornithologiques, notamment « Avinews » (bulletin de la Station ornithologique) et Nos Oiseaux (revue de la Société romande pour l'étude et la protection des oiseaux).

Un article détaillé sur le site d'escale a été rédigé par Sophie Jaquier en mars 2021 pour la revue ornithologique de BirdLife (Milan 1/2021).

6. Inondations futures

La prochaine inondation est prévue à l'**automne 2021**, pour la période migratoire post-nuptiale (1^{er} août – 31 octobre 2021).

Le programme des inondations futures, demandé par M. Willy Stoll, exploitant, lui a été transmis le 9 décembre 2020 par e-mail :

- 2021 : automne
- 2022 : automne
- 2023 : printemps
- 2024 : printemps
- 2025 : automne

7. Conclusions

Les résultats de cette 3^{ème} inondation contrôlée sont très positifs.

Les débits nécessaires à l'inondation du site restent faibles, de l'ordre de **7.6 l/s (débit de maintien)**, malgré la réalisation du drainage du site d'escale, garantissant ainsi la réalisation d'un projet durable, notamment si une alimentation des pompes avec des énergies renouvelables est réalisé. Un débit initialement plus élevé est nécessaire afin d'atteindre rapidement la surface inondée visée (**débit de remplissage : 15-20 l/s**).

D'un point de vue ornithologique, **7'242 individus/jour de 23 espèces différentes** ont utilisé le site entre le 31 juillet et le 31 octobre 2020 pour y faire escale. Ces résultats sont très positifs et cela est confirmé par la comparaison avec d'autres sites d'escales en Suisse. La diversité des espèces et le nombre élevé de limicoles migrateurs démontrent l'attractivité du site et son importance d'envergure nationale. Ces résultats sont très prometteurs en prévision des futures inondations contrôlées sur le site des Quatre-Vingts ou dans d'autres sites de la Basse Plaine de l'Orbe.

Cette 3^{ème} inondation marque la fin de la période pilote 2015-2020. La **convention du 28 janvier 2021** réglant l'utilisation du site pour les années 2021 à 2030 a été signée par la Commune d'Yverdon-les-Bains, l'exploitant agricole Stoll Production SA et l'association ELA. Cette convention constitue une grande satisfaction pour les initiateurs du projet et une garantie importante pour l'avenir.

Cependant, il manque encore un **deuxième site d'escale** permettant d'assurer la fonction d'escale en alternance printemps – automne avec les 5 ha des Quatre-Vingts. La recherche de ce 2^{ème} site constitue un objectif majeur des périodes à venir.

Un autre défi est de **dédommager l'exploitant** acceptant d'abriter un site d'escale sur son domaine car une inondation saisonnière constitue un important manque à gagner. Une étude intercantonale VD FR SO (BE à confirmer) devrait identifier les outils à disposition fondés sur les législations agricoles et relatives à la biodiversité (cantons et Confédération).

La prochaine inondation aura lieu du 1^{er} août au 31 octobre 2020.

CSD INGENIEURS SA



pp. Julien Devanthéry
Chef département environnement



pp. Tamara GHILARDI
Chef de projet

Escales Limicoles et Agriculture

Christian Roulier
Biologiste

En collaboration avec la Station Ornithologique suisse de Sempach :

Sylvain Antoniazza
Biologiste

Yverdon-les-Bains, le 11 juin 2020.

COREFERENT

Julien DEVANTHÉRY (Chef de département environnement, ingénieur en environnement)

AUTRE(S) COLLABORATEUR(S) CHARGÉ(S) DE L'ÉTUDE

-

<http://dialog/projets/VD07182.700/Lists/Documents/CSD/07 Résultats/VD07182.700-Rapport résultats inondation 2020.docx>

Pour préserver l'environnement, CSD imprime ses documents sur du papier 100 % recyclé (ISO 14001).

8. Références

CSD Ingénieurs SA (Roulier C. et Ghilardi T.). 12 novembre 2019. « Site d'escale pour les limicoles – Yverdon-les-Bains. Inondation contrôlée du printemps 2019 ». Yverdon-les-Bains, 47 pages.

CSD Ingénieurs SA (Roulier C. et Ghilardi T.). 27 juin 2018. « Site d'escale pour les limicoles – Yverdon-les-Bains. Inondation automne 2017 ». Yverdon-les-Bains, 47 pages.

CSD Ingénieurs SA (Ghilardi T. et Fournier F.). 20 août 2018. « Yverdon-les-Bains, parcelle n°842 – Limicoles. Étude et reconnaissance géologique pour la création d'une paroi étanche souterraine ». Yverdon-les-Bains, 23 pages.

CSD Ingénieurs SA (Roulier C. et Ghilardi T.). 2017. « Site d'escale pour limicoles. Test d'infiltration. Rapport technique ». Yverdon-les-Bains, 27 pages.

SCZA Service conseil Zones alluviales (Roulier C. et Ghilardi T.). 2016. « Aménagement d'un site d'escale pour les limicoles à Yverdon-les-Bains. Etude de faisabilité ». Yverdon-les-Bains, 70 pp et annexes.

Schmid H., Leuenberger M., Schifferli L. et Birrer S. 1992. « Stationnement des limicoles faisant escale en Suisse ». Station ornithologique suisse. Sempach. 138 pp.

ANNEXE A GRAPHIQUE DE L'ALIMENTATION EN EAU ET DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE

