

RAPPORT D'ÉTUDE

2021



**Gestion hydraulique de la réserve naturelle
du marais d'Orx**

Compléments d'étude 2021



Conservatoire
du littoral

Gestion hydraulique de la réserve naturelle du marais d'Orx

Compléments à l'appui à la Délégation de Rivages Aquitaine du Conservatoire du Littoral de 2015-2017

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	12/10/21	Première version
2	16/08/22	Version complétée suite à la première restitution et aux jaugeages d'étiages

Affaire suivie par

Rémy GASSET – Département Territoires - Groupe Eau Risques Résilience
Tél. : +33(0)5 56 70 63 87
Courrier : remy.gasset@cerema.fr
Site de Bordeaux – Cerema SO Rue Pierre Ramond CS 60013 / 33166 ST-MEDARD-EN-JALLES CEDEX

Références

n° d'affaire : 21S00475

Partenaire(s) : Conservatoire du Littoral

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Rémy Gasset	12/10/21	
Avec la participation de	Farid Touil	12/10/21	
Contrôlé par	Didier Felts	26/10/22	
Validé par	Didier Felts	26/10/22	

Résumé de l'étude :

De 2015 à 2017, le Cerema Sud-Ouest a mené une mission d'appui auprès de la Délégation Aquitaine du Conservatoire du Littoral sur le Marais d'Orx. La Délégation re-sollicite aujourd'hui le Cerema pour mettre à jour les données et approfondir certains éléments au niveau de la gestion hydraulique. Sont ainsi abordés l'impact sur les crues de la réserve (au travers d'une modélisation en l'absence d'ouvrages), les capacités de renouvellement d'eau en étiage, les conditions de création d'un seuil déversoir visant à protéger une partie du linéaire de digues des surverses.

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION.....	5
1.1 Contexte.....	5
1.2 Objectifs.....	6
1.3 Rappel des éléments disponibles dans l'appui de 2015-2017.....	7
2 Gestion quantitative des étiages.....	9
2.1 synoptique de fonctionnement de la réserve.....	9
2.2 Relations cote d'eau/surface en eau/volume en eau.....	9
2.3 Ouvrages indisponibles/inopérants en situation d'étiage, fonctionnement réel.....	11
2.4 Apports et pertes.....	12
2.5 Besoin de renouvellement des masses d'eau.....	17
2.6 Bilan.....	19
3 Prédimensionnement sommaire de l'ouvrage déversant.....	20
3.1 Ouvrage provisoire actuel.....	20
3.2 Hauteurs de seuil, débit à écrêter.....	20
3.3 Caractérisation géométrique et hydraulique.....	21
3.4 En résumé.....	22
3.5 Pistes complémentaires d'intégration.....	22
4 Crues du marais d'Orx en l'absence d'ouvrages.....	24
4.1 Principe général.....	24
4.2 Données et hypothèses.....	25
4.3 Descriptif du modèle.....	26
4.4 Scénarios modélisés.....	29
4.5 Résultats, critiques.....	30
Durée de vidange des casiers fusionnés, après remplissage exceptionnel.....	30
Scénario 3.....	31
Scénario 3bis.....	31
Scénario 4.....	31
Scénario 4bis.....	32
Hiver 2018.....	32
Hiver 2020-2021.....	34
4.6 Emprises inondées par la crue de 2021 dans quelques zones d'intérêt.....	37
4.7 Conclusion.....	40
5 Annexes.....	42

figures

Figure 1: synthèse occupation des sols.....	7
Figure 2: hydrogramme théorique combinant les approches par méthode rationnelle.....	7
Figure 3: répartition indicative des apports lors d'une crue décennale (certains apports sont déphasés)	8
Figure 4: courbes hypsométriques recalculées sur les différents casiers.....	9
Figure 5: volumes en eau en fonction de la cote de remplissage des casiers.....	10
Figure 6: valeurs cumulées en fonction de la cote de remplissage des casiers.....	10
Figure 7: schéma simplifié des écoulements et ouvrages hydrauliques de la réserve du marais d'Orx...	11
Figure 8: pertes par évaporation en fonction du remplissage des casiers.....	15
Figure 9: pertes par infiltrations en fonction du remplissage des casiers.....	15
Figure 10: pertes totales en fonction du remplissage des casiers.....	16
Figure 11: principes de modélisation initial et révisé (Piveteau et al. 2021).....	24
Figure 12: pluies statistiques sur le marais d'Orx.....	26
Figure 13: superposition du maillage à l'orthophoto au droit de l'accueil de la réserve.....	27
Figure 14: paramétrage de la méthode SCS sur le bassin versant du marais d'Orx.....	28
Figure 15: encadrement des zones où la topo des digues à été modifiée pour permettre les écoulements	28
Figure 16: pluies introduites pour la modélisation de l'hiver 20-21.....	29
Figure 17: pluies introduites pour la modélisation de l'hiver 17-18.....	30
Figure 18: pluies introduites pour les crues théoriques "intenses".....	30
Figure 19: décrue des casiers en l'absence de précipitation supplémentaires.....	31
Figure 20: débits totaux entrants et sortant dans la simulation centennale 6h.....	32
Figure 21: débits entrants et sortant dans la simulation de l'événement 2018.....	33
Figure 22: réponse des casiers aux précipitations mesurées par la réserve lors de l'événement 2018.....	33
Figure 23: "comparaison" entre état observé avec ouvrages et pompages et état modélisé sans ouvrage	34
Figure 24: réponse des casiers aux précipitations mesurées par Météofrance lors de l'événement 20-21	35
Figure 25: débits simulés pour l'événement 20-21.....	36
Figure 26: hauteurs "comparées" pour l'événement 20-21.....	37
Figure 27: emprise maximale en tête de casier Nord.....	38
Figure 28: emprise maximale sur le casier central.....	39
Figure 29: emprise maximale sur le casier barrage et le Boudigau.....	39
Figure 30: emprise maximale sur le casier Burret.....	40

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

De 2015 à 2017, le Cerema Sud-Ouest a mené une mission d'appui auprès de la Délégation Aquitaine du Conservatoire du Littoral sur le Marais d'Orx, comprenant plusieurs volets :

- une présentation générale du marais d'Orx et de son bassin versant ;
- un historique et un état actuel de l'occupation du sol du bassin versant ;
- une évaluation de la gestion hydraulique du marais ;
- une évaluation des capacités de mobilisation du casier Burret pour l'écrêtage des crues ;
- une étude de vulnérabilité des digues par surverse et conséquences des ruptures sur le marais.

La Délégation Aquitaine du Conservatoire re-sollicite aujourd'hui le Cerema pour mettre à jour les données et approfondir certains éléments au niveau de la gestion hydraulique notamment. Plusieurs questions, dont la gestion des étiages et le renouvellement des masses d'eaux, n'ont en effet pas été abordées par la première assistance. Une mise à jour des données statistiques est également attendue.

Deux projets de la réserve sont particulièrement concernés :

- des actions engagées visant à réduire l'incidence du pompage sur la dévalaison des marais,
- la création projetée d'un ouvrage déversant au nord visant à améliorer la gestion hydraulique du marais et à protéger les digues régulièrement surversées sur ce secteur.

Enfin, les crues survenues en 2019 et en 2021 ont illustré à nouveau l'exposition des ouvrages à de nombreuses surverses, avec des volumes cumulés élevés entrants dans le marais (estimés sommairement à 1,6 millions de m³ en 24h, et assimilables à une crue décennale au regard de l'approche hydraulique de 2016), des digues exposées à des défaillances et du pompage en conséquence (23j en continu selon les capacités théoriques de l'installation).

Fin mai 2022, le nouveau plan de gestion décennal de la RNN du Marais d'Orx a été présenté et validé au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) de Nouvelle Aquitaine. Le diagnostic écologique met en évidence une « exceptionnelle richesse » et le plan d'actions proposé par le gestionnaire s'appuie sur la présence du polder et sur son maintien. Ce plan de gestion, dont le postulat est donc le maintien du polder (qui est à l'origine du classement en RNN) aborde également la thématique de la gestion raisonnée de la ressource en eau dans un contexte de changement climatique.

1.2 Objectifs

Suite à des échanges avec le Conservatoire du Littoral, la mission d'appui du Cerema est recentrée sur trois grandes thématiques d'analyse :

1/Gestion hydraulique (quantitative) de la réserve en étiage

Une étude quantitative se focalisera sur la gestion quantitative des étiages, peu abordée en 2016. Elle s'appuie sur les résultats d'une campagne bathymétrique commandée par le Conservatoire, complétée de mesures d'apports des principaux affluents en étiage.

Le suivi bathymétrique a permis au prestataire d'actualiser la caractérisation des casiers par une courbe hauteurs/volume affinée. Des jaugeages en étiage doivent permettre d'évaluer les débits mobilisables. Puis, par une identification des possibilités d'écoulements et une schématisation conceptuelle (réservoirs/transferts) fondée sur les analyses de fonctionnement d'ouvrages menées en 2017, seront estimés les besoins de renouvellement au regard des exigences du milieu (basé sur la bibliographie transmise). On vérifiera ainsi la capacité de renouvellement (volume, durée) en période d'étiage ou sur des débits intermédiaires plus conséquents si les capacités en étiage étaient trop limitées.

2/Prédimensionnement sommaire de l'ouvrage déversant

En 2021, pour mettre à profit le matériel disponible et protéger les ouvrages pour l'hiver 2021-2022, la réserve a procédé à un arasement limité d'une section de digue, afin de protéger les autres linéaires.

On confortera ou critiquera le choix de positionnement de cet ouvrage provisoire. Une optimisation de la géométrie de l'ouvrage déversant sera fournie par :

- utilisation des études antérieures et du retour d'expérience de 2019 pour évaluer le débit à écrêter,
- dimensionnement sommaire de la largeur et de la cote de crête du déversoir sur la base des formules empiriques de seuils déversants,
- réflexions sur l'aménagement d'un ouvrage s'intégrant à la réserve naturelle.

(Ce dimensionnement purement géométrique n'abordera pas les notions de résistances ou de stabilité de l'ouvrage projeté, seul ses capacités hydrauliques seront étudiées)

3/Appréhension du fonctionnement du site en l'absence de régulation ou d'ouvrages

Une modélisation hydraulique « zéro ouvrage », basée sur la topographie et l'occupation des sols du secteur du marais d'Orx, et la simulation de crues et d'étiages fictifs issus des études antérieures ou de cette étude, sera menée pour apporter à la réserve des éléments qualitatifs et quantitatifs de réponse quant à l'impact de la réserve naturelle et de son mode de fonctionnement sur les crues du bassin du Boudigau et de ses affluents.

Une modélisation pluie-débit-hauteur/vitesses via telemac 2D et la méthode SCS permettra de tester une configuration avec brèches généralisées ou arasements des digues vis à vis de plusieurs crues (saisons récentes ou pluies théoriques centennales par exemple)

1.3 Rappel des éléments disponibles dans l'appui de 2015-2017

L'étude Cerema 2015-2017 avait permis d'éclairer davantage la connaissance du fonctionnement de la réserve, de son bassin versant et de son exutoire. On rappelle ici les conclusions intéressantes de ce complément:

- la nature et les évolutions de l'occupation des sols ont été qualifiées, les résultats alimentent le modèle hydraulique,

Sous-bassin	Taille (Ha)	Géologie	Alt. (m)	% forêt	% prairie	% culture	% urbanisation	Détails
Orx	2317	Sableux	10-50	48 ↓	10 ↑	29 ↓	10 ↑	Équilibre feuillus- résineux / maïsiculture et production de semences
Mourmaou	2418	Sableux	10-90	49 ↓	7 ↑	35 ↓	6 ↑	Résineux dominants / maïsiculture
Navachon	1665	Calcaire	10-90	37 ↑	14 ↓	40 ↓	8 ↑	Feuillus dominants / maïsiculture, prairies
Moura blanc	1904	Calcaire	10-60	48 ↓	17 ↑	24 ↓	6 ↑	Feuillus dominants, peupleraies / maïsiculture, prairies
Moussehous	1364	Calcaire	10-60	58 ↓	11 ↑	17 ↓	8 ↑	Feuillus dominants / maïsiculture
Yrieux	692	Calcaire	20-50	56 ↓	5 →	17 ↓	7 ↑	Feuillus dominants / maïsiculture

Figure 1: synthèse occupation des sols

- les bassins versants ont été caractérisés, leurs crues évaluées par méthode rationnelle, l'impact de l'évolution de l'occupation des sols sur celles-ci esquissé,

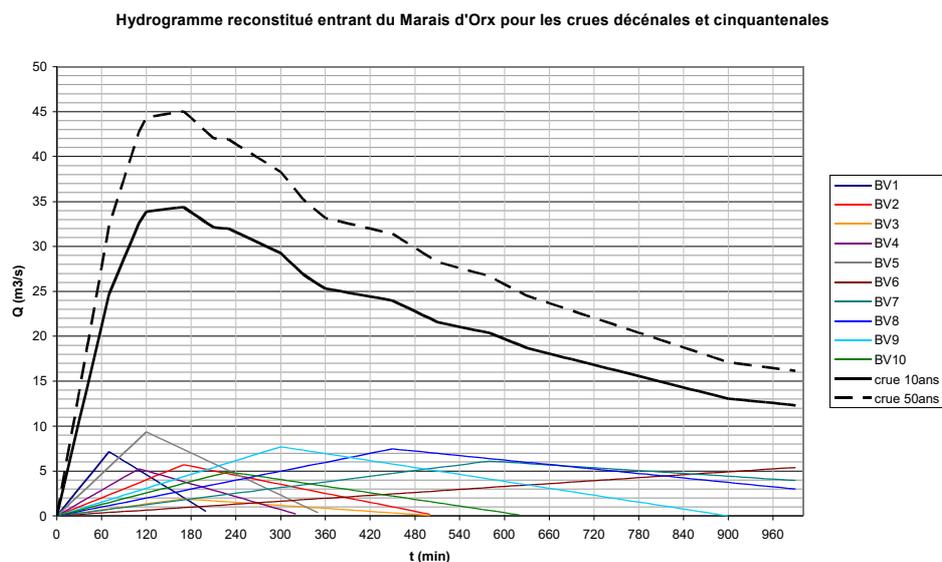


Figure 2: hydrogramme théorique combinant les approches par méthode rationnelle

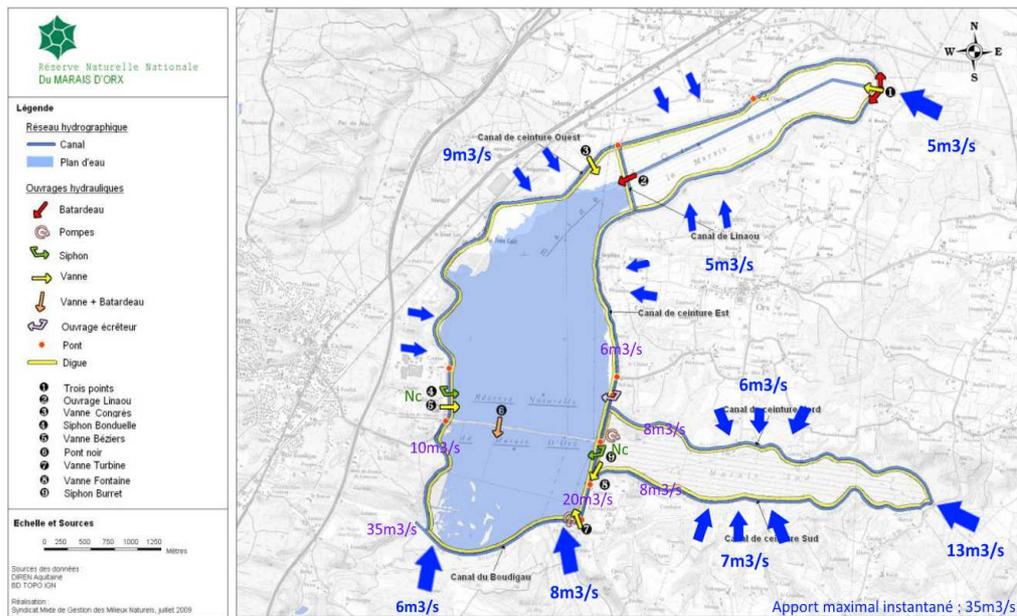


Figure 3: répartition indicative des apports lors d'une crue décennale (certains apports sont déphasés)

- les capacités de gestions des crues, en particulier celles offertes par les vannages, ont été estimées,
- la très faible influence de la marée sur les crues courantes du Boudigau a été explicitée, via un modèle hydraulique 1D simplifié,
- les capacités et conséquences de la mobilisation éventuelle du casier Burret pour l'écrtage des crues ont été décrites,
- les vulnérabilités des digues à la surverse ont été précisées.

2 Gestion quantitative des étiages

2.1 synoptique de fonctionnement de la réserve

Basé sur les informations collectées auprès de la réserve en 2017, il est possible de reconstituer les cheminements mobilisables de l'eau dans la réserve pour présenter un réseau dont on étudiera les volumes, les flux et le besoin de renouvellement.

2.2 Relations cote d'eau/surface en eau/volume en eau

Le modèle numérique de terrain (MNT) fourni par l'UNIMA est réanalysé pour traduire les surfaces en eau, volumes de remplissage des casiers en fonction de leur ligne d'eau. Les valeurs sont calculées de 1 à 5m NGF par pas de 20cm. A noter qu'à partir de 3,60m NGF, les casiers centraux et barrage sont connectés, et qu'à 4m NGF environ, le casier nord se déverse dans le casier central (ou inversement).

L'exploitation du MNT par casier nous permet d'obtenir les courbes hypsométriques suivantes, en m²:

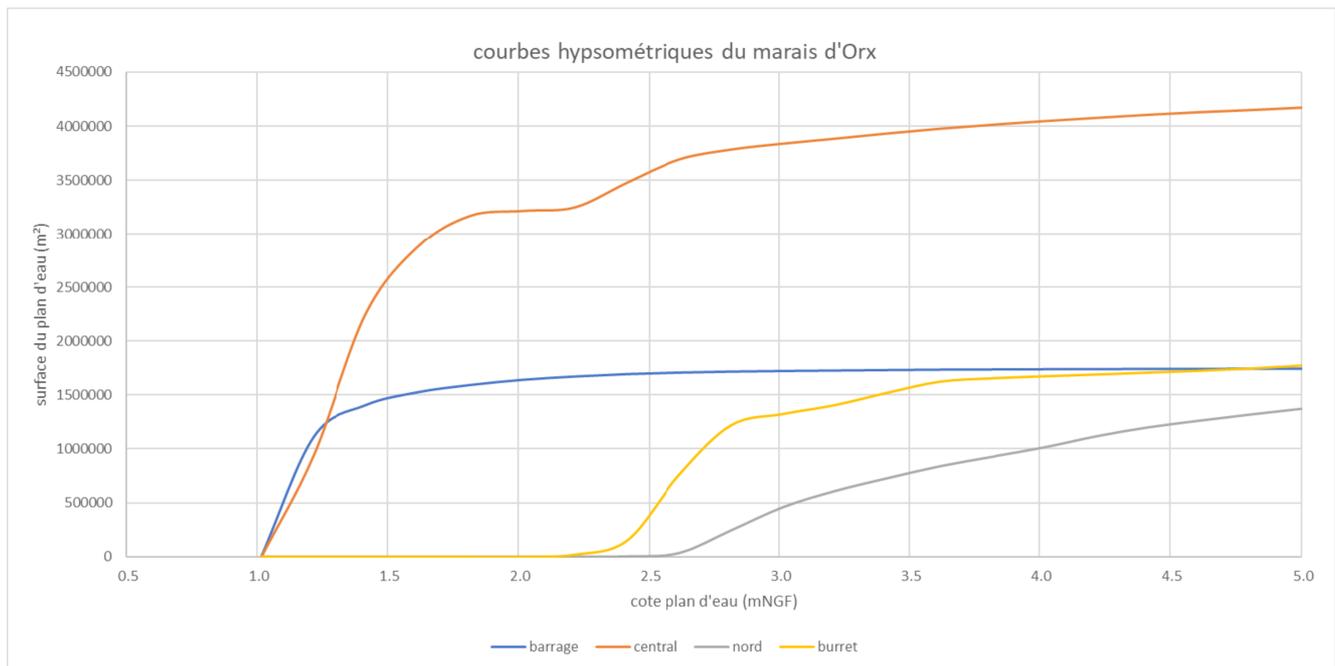


Figure 4: courbes hypsométriques recalculées sur les différents casiers

Les volumes par tranche sont obtenus via la formule de calcul de pyramide tronquée et sont ensuite cumulés sur la colonne d'eau:

$$V = \frac{h \times (B + b + \sqrt{Bb})}{3}$$

avec b la surface de la tranche inférieure et B la surface de la tranche considérée. h est ici fixé à 0,2m.

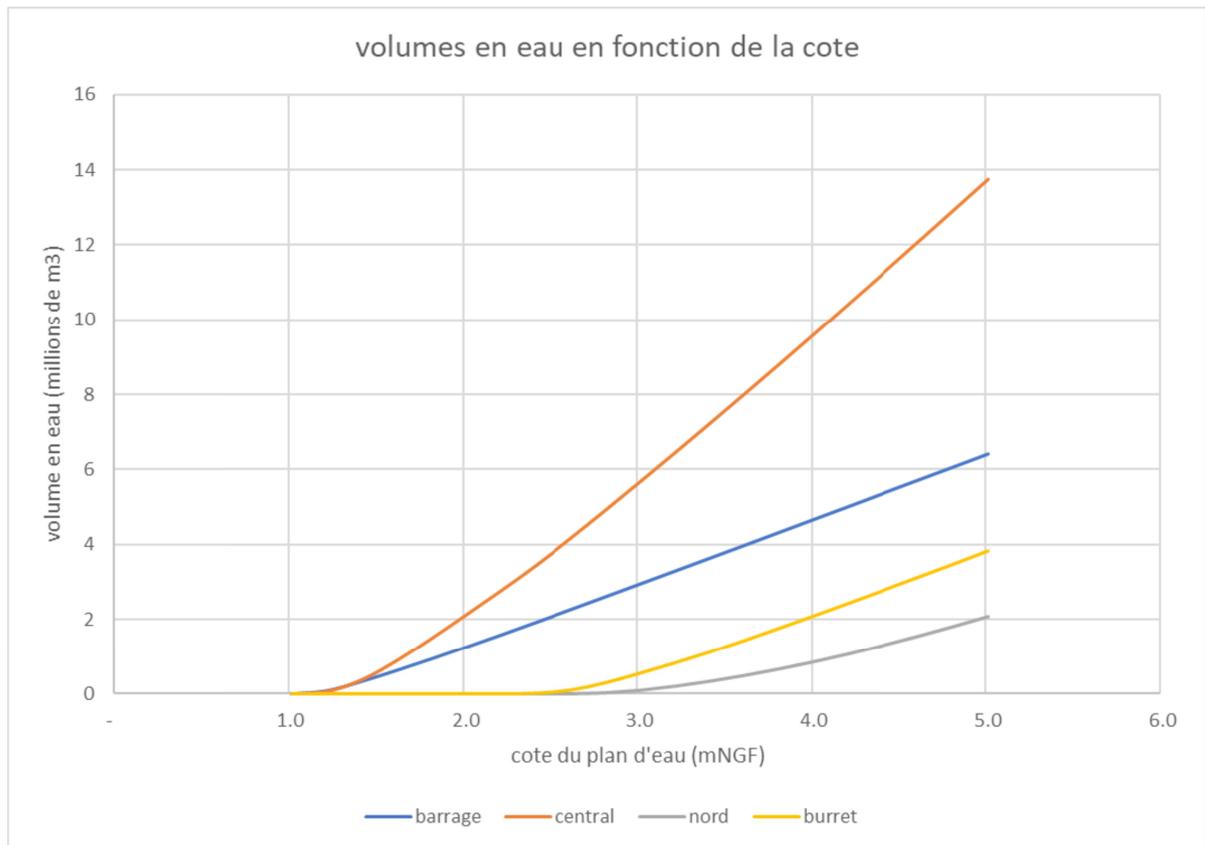


Figure 5: volumes en eau en fonction de la cote de remplissage des casiers

Ces volumes sont très cohérents avec ceux estimés, après correction, par l'Unima.

Dans l'hypothèse d'une connexion totale des casiers, les courbes sont les suivantes pour l'ensemble de la réserve :

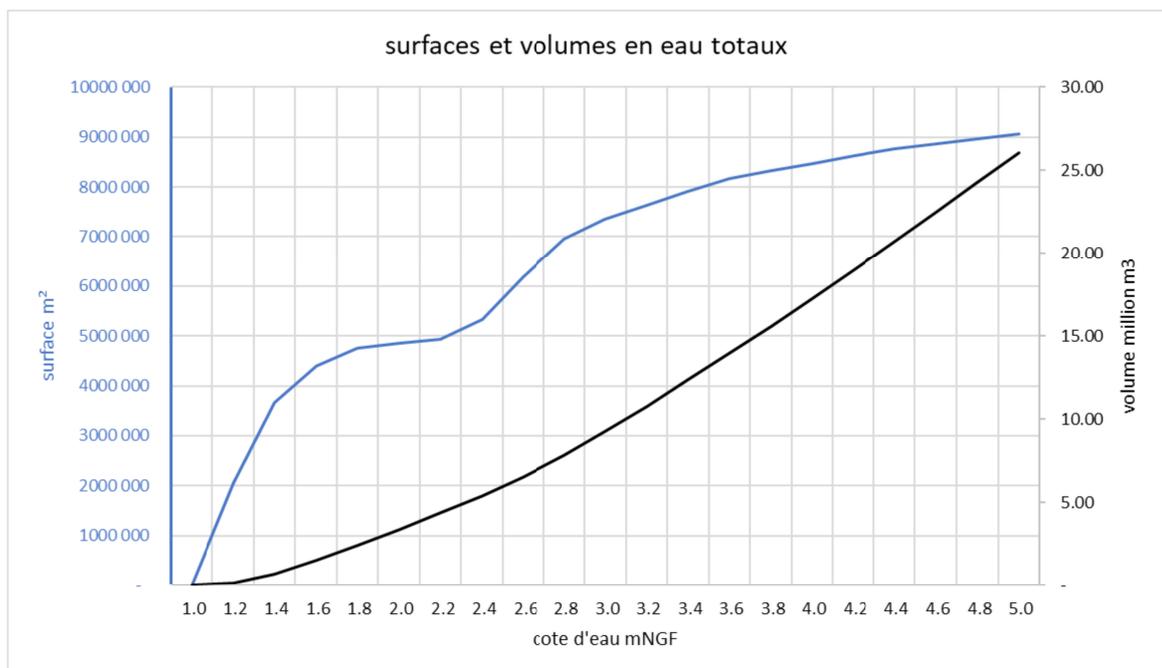


Figure 6: valeurs cumulées en fonction de la cote de remplissage des casiers

2.3 Ouvrages indisponibles/inopérants en situation d'étiage, fonctionnement réel

Lors de l'assistance de 2017, il est apparu que l'ensemble des équipements pouvait être opérés à l'exception de la vanne située au sud de la jonction entre casier Barrage et casier Burret. Certains ouvrages comme la vanne trois points n'ont cependant pas vocation à être manœuvrés quotidiennement et alimentent invariablement les canaux de ceinture pendant la période d'étiage. Le fonctionnement synthétique de la réserve (axes d'écoulement, ouvrages) peut être résumé par le synoptique suivant :

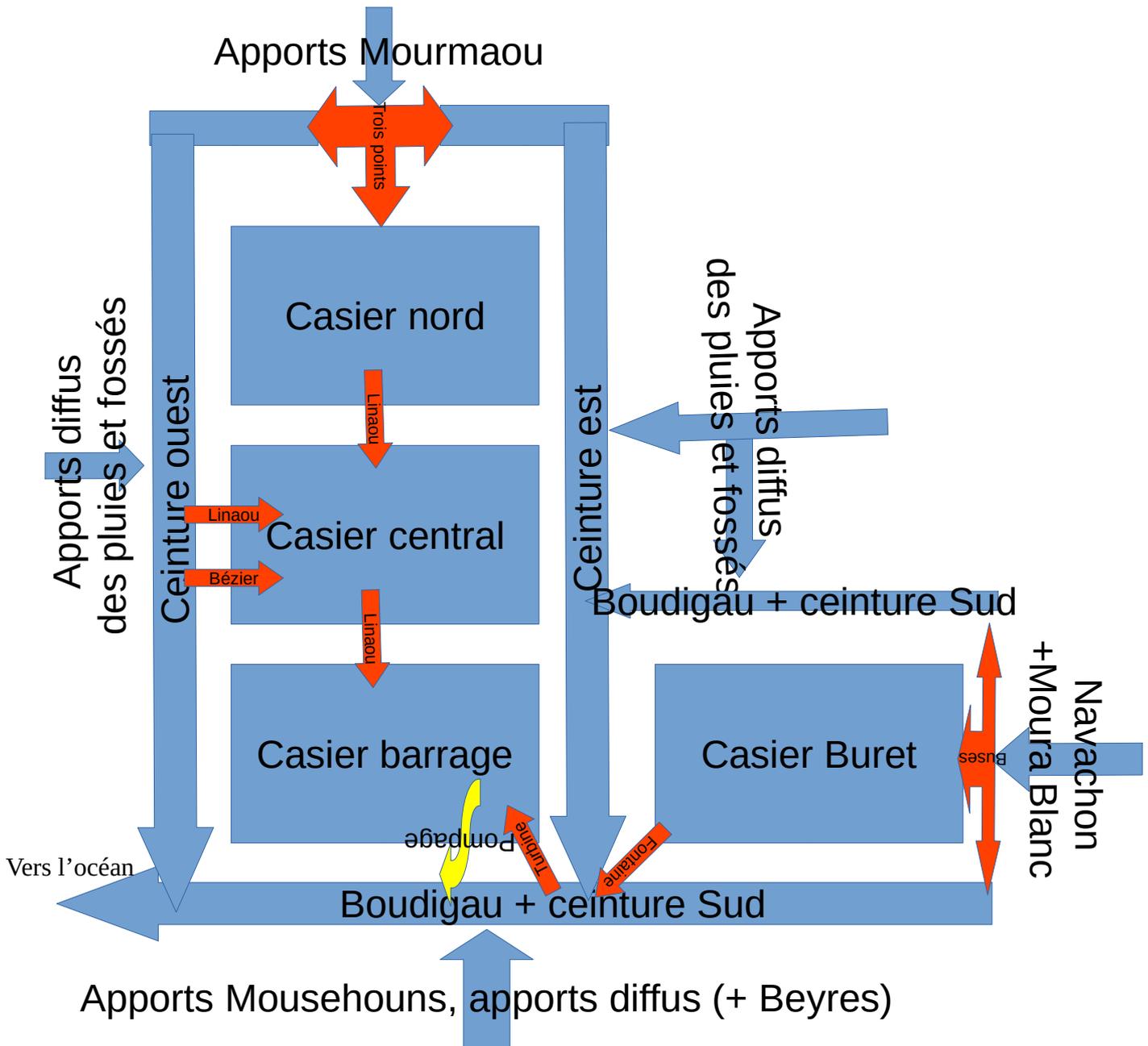


Figure 7: schéma simplifié des écoulements et ouvrages hydrauliques de la réserve du marais d'Orx

2.4 Apports et pertes

Les apports en situation d'étiage sont déterminés sur la base des jaugeages d'étiage d'août **2022**. La situation hydrologique au moment des jaugeages est ensuite évaluée en examinant les petits cours d'eaux surveillés de la région, comme le Luy ou le courant de Souston. On considérera un comportement identique des affluents du marais d'Orx (bien que leur bassin versant soit nettement plus restreint).

Particulièrement sec, l'été 2022 a abouti à un étiage marqué, les débits mesurés sont donc représentatifs d'une situation relativement extrême, une seconde valeur est corrigée à la hausse sur la base d'un facteur déterminé à partir du Luy et du courant de Souston, pour être représentatif d'une saison plus « classique ».

Le schéma synthétique des principaux ouvrages et axes d'écoulement est rappelé page suivante. Les débits mesurés le 12/08/2022 entre 10h et 14h (HL) sont les suivants :

- **Mourmaou au niveau du « trois points »** : écoulement faible à travers la vanne d'environ 2l/s côté est, écoulement plus marqué côté ouest (vanne + fuites du batardeau). Un jaugeage sur une section directement à l'aval de l'ouvrage indique 16l/s. Pas d'écoulement visible vers le casier, soit un total de **18l/s d'apport du Mourmaou**.

- **Moura Blanc** : l'écoulement sous ouvrage avant casier Burret est ramené à un mince filet d'eau s'infiltrant directement dans le fond du lit. Le transport d'eau se fait uniquement par la nappe alluviale. Débit de surface **<1l/s**.

-**Navachon** : le jaugeage entre le pont et le canal de la peupleraie (asséché) abouti à des apports de **12l/s**.

-**Moussehouns** : le faible niveau du canal de ceinture a permis le jaugeage du canal du Moussehouns. Le débit mesuré est de **10l/s**.

- **Boudigau** : les connexions entre canaux et casiers étant fermées et le pompage nul le jour des jaugeages, on peut s'attendre à un relatif équilibre entre les apports autour de la réserve et le débit sortant par le Boudigau. Ce dernier est jaugeé au niveau de la passe à poissons à Labenne (amont de la voie ferrée). Le seuil ne laisse apparaître aucun écoulement. Un débit de **62l/s** est mesuré dans la passe, avec en plus un faible écoulement non mesurable sur le tapis à anguilles. Les apports diffus (zone humides, sources et résurgences de nappe alluviale) semblent ainsi jouer un rôle important dans l'alimentation en eau de la réserve (au moins 20l/s ?)

On estime ainsi à, au minimum, 40l/s les apports des affluents de la réserve le jour du jaugeage (en période de sécheresse), avec une valeur privilégiée d'environ 60l/s pour tenir compte de l'ensemble des apports non mesurés.

Cette valeur reste exceptionnellement basse. Le PPG du bassin du Boudigau rappelle ainsi une estimation précédente des étiages de $8,7\text{l/s/km}^2$ pour ce bassin, soit une valeur d'environ 1000l/s au point de jaugeage !

Les pertes par évaporation dépendent de la température et des niveaux dans les casiers. On se base sur la formule de Penman et les valeurs mesurées dans le Limousin dans la thèse de doctorat de Aldomany¹ :

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_{net} - S}{\lambda} + 0,0026 (1 + 0,54 U) (1 - h) (esa \times 100) \dots\dots\dots(53)$$

Pour la réserve, et selon les normales Météofrance pour les mois de juillet à septembre, la température journalière varie de 16° à 24°, avec en moyenne 6,7h d'ensoleillement par jour.

$$\gamma = \frac{C_p \rho \cdot P}{\epsilon \cdot \lambda} \dots\dots\dots(37)$$

$$\Delta = \frac{(4098) \cdot (0,6108 \exp(\frac{17,27T}{T+237,3}))}{(T+237,3)^2} \qquad \lambda = 2,501 - 0,02361 \cdot T$$

$$es = 0,6018 \cdot \exp(\frac{17,27T}{T+237,3}) \dots\dots\dots(34) \quad (\text{Allen et al., 2006}).$$

- Soit en considérant une pression standard de 101,3 kPa et une température moyenne de 20°C
- $\gamma = 0,081$
- avec la chaleur latente de vaporisation $l = 2.03$
- $\Delta = 0,145$ courbe de pression de vapeur saturante
- $esa = 2,30$
- on considère que S est nul sur la période étudiée (même température de l'étang fin septembre que début juillet)
- sur la base des chroniques Météofrance, la moyenne d'humidité relative h à Biarritz est élevée : 80% sur la période considérée.

La vitesse moyenne de vent U constatée à Biarritz est de 3.6m/s (environ 13km/h)

- les valeurs de rayonnement net, très complexes à déterminer sont déduites des mesures de Aldomany à Limoges pour la période estivale, soit une moyenne de 11 MJ/m3/j.

L'application de la formule de Penman aboutit à une évaporation journalière de **3.83mm/j** dont 3.48mm liés au terme de chaleur et 0.35mm liés au vent.

On peut vérifier la validité de cette valeur en utilisant une formule simplifiée de calcul de l'évapotranspiration potentielle :

$$ETP = (0,014 \cdot ((1,8 T_a + 32) - 0,5)) \cdot (\frac{R_s}{\lambda}) \dots\dots\dots(61) \quad (\text{McGuinness et Bordne, 1972})$$

ETP = 5.12mm/j soit une évaporation réelle à 75% du potentiel maximal.

Les pertes par évaporations à l'échelle de la réserve, en l/s, sont ainsi les suivantes :

¹Mohammad Aldomany. L'évaporation dans le bilan hydrologique des étangs du Centre-Ouest de la France (Brenne et Limousin). Géographie. Université d'Orléans, 2017. Français. NNT : 2017ORLE1155. tel-01661489

Élévation	barrage	central	nord	burret	total indicatif
1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5
1.2	45.1	38.2	0.0	0.0	83.3
1.4	56.9	91.1	0.0	0.0	148.0
1.6	61.8	116.6	0.0	0.0	178.3
1.8	64.5	128.4	0.0	0.0	192.9
2.0	66.4	130.3	0.0	0.0	196.7
2.2	67.7	131.6	0.0	0.9	200.1
2.4	68.5	140.9	0.1	6.2	215.8
2.6	69.1	149.5	1.4	30.8	250.9
2.8	69.5	153.3	9.9	49.5	282.2
3.0	69.7	155.5	18.7	53.8	297.7
pertes par évaporation en l/s					

Figure 8: pertes par évaporation en fonction du remplissage des casiers

Les pertes par infiltrations sont difficiles à quantifier en l'absence de mesure in-situ et dépendent de la connexion effective et des interactions entre les casiers et la nappe. On se base ici dans l'hypothèse défavorable où la réserve alimente la nappe sur les mois secs (et non l'inverse). Sur l'hypothèse d'un fond en limon sableux largement stabilisé (mise en boue et dépôt de limons complets avec coefficient de perte considéré de $2\text{mm}/j^2$, les pertes quotidiennes par infiltration dans les différents casiers sont les suivants :

Élévation	barrage	central	nord	burret	total indicatif
1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3
1.2	25.8	21.8	0.0	0.0	47.6
1.4	32.5	52.1	0.0	0.0	84.6
1.6	35.3	66.6	0.0	0.0	101.9
1.8	36.8	73.4	0.0	0.0	110.2
2.0	38.0	74.4	0.0	0.0	112.4
2.2	38.7	75.2	0.0	0.5	114.4
2.4	39.2	80.5	0.1	3.6	123.3
2.6	39.5	85.5	0.8	17.6	143.4
2.8	39.7	87.6	5.7	28.3	161.3
3.0	39.8	88.9	10.7	30.7	170.1
pertes par infiltration évaluées en l/s					

Figure 9: pertes par infiltrations en fonction du remplissage des casiers

En résumé, les pertes par infiltration représentent environ la moitié des pertes par évaporation, et le 1/3 des pertes de volume hors exutoire. En raison de la superficie des casiers, ces pertes sont non négligeables en comparaison des faibles apports en étiage.

2 Attention, selon la nature des sols, cette valeur peut varier du simple au double... la valeur considérée est issue de recommandations de la FAO et proche de celles mesurées par Aldomany

Élévation	barrage	central	nord	burret	total indicatif
1.0	1	0	0	0	1
1.2	71	60	0	0	131
1.4	89	143	0	0	233
1.6	97	183	0	0	280
1.8	101	202	0	0	303
2.0	104	205	0	0	309
2.2	106	207	0	1	315
2.4	108	221	0	10	339
2.6	109	235	2	48	394
2.8	109	241	16	78	443
3.0	110	244	29	84	468
pertes totales en l/s					

Figure 10: pertes totales en fonction du remplissage des casiers

Il faudrait un débit d'apport d'environ $0.3\text{m}^3/\text{s}$ pour simplement compenser les pertes pour un niveau d'eau entre 1,6 et 2,4mNGF, et un débit de plus de $0.5\text{m}^3/\text{s}$ quand les casiers nord et Burret sont en eaux.

Le ratio en période de sécheresse est donc particulièrement défavorable, les apports ne compensant au mieux qu'un cinquième des pertes.

Pour évaluer les possibilités lors d'été plus « classiques », on peut se référer aux quelques stations hydrométriques suivies sur de plus longues périodes, sur le Luy et le courant de Souston notamment. A noter que les bassins versants de ces rivières sont significativement plus étendus que tous ceux cumulés de la réserve. Ils sont de fait réputés moins sensibles à l'assèchement que les affluents de la réserve.

Sur les 3 jours encadrant le jaugeage, le Luy à Saint-Pandelon oscille entre 550l/s et 770l/s ,avec une valeur moyenne d'environ $650\text{m}^3/\text{s}$. Les analyses statistiques sur le Vcn3 à cette station indiquent une valeur proche d'une sécheresse décennale. Une année moyenne voit son Vcn3 à peu près doublé.

Sur une année normale, en période d'étiage mesurée sur 3 jours, on peut donc espérer des apports d'au moins 120l/s, ce qui reste nettement insuffisant.

Cette analyse statistique ignore cependant la durée importante de la sécheresse de 2022.

Sur le mois précédant la mesure, le débit moyen observé est inférieur à $700\text{m}^3/\text{s}$, ce qui porte la sécheresse à une période de retour entre 20 et 50 ans. Une moyenne mensuelle usuelle serait autour de 2,5 fois cette valeur.

Sur une année normale, en période d'étiage mesurée sur 1 mois, on peut donc espérer des apports d'au moins 150l/s, ce qui, même si potentiellement encore sous-estimé, reste nettement insuffisant pour envisager un renouvellement dynamique de la masse d'eau.

La même analyse menée sur le Courant de Souston aboutit à une caractérisation moins sévère de l'étiage et donc à une compensation moindre. Elle nous apparaît moins pertinente au regard des observations de la réserve et de la situation le jour des mesures (niveau exceptionnellement bas, se traduisant notamment par une mortalité anormalement haute pour les espèces abritées).

2.5 Besoin de renouvellement des masses d'eau

Les phénomènes aboutissant à des intoxications liées aux cyanobactéries demeurent encore mal définis. La présence des cyanobactéries n'implique pas nécessairement un risque sanitaire. Les effets de concentration et de mortalité sont également déterminants.

C. Bernard³ (UMR7245 CNRS-MNHN) rappelle en 2014 les combinaisons complexes pouvant aboutir à une prolifération des cyanobactéries :

« les cyanobactéries présentent une croissance supérieure aux autres organismes phytoplanctoniques au-dessus de 25 °C et les températures élevées leur apportent ainsi un certain avantage compétitif. Le réchauffement des masses d'eau peut entraîner une stratification de la colonne d'eau ce qui favorise également les genres de cyanobactéries à vésicules à gaz »

« L'augmentation des flux de nutriments (e.g. azote, phosphore) provenant de sources ponctuelles et/ou diffuses entraîne une eutrophisation croissante des masses d'eau. Ces nutriments sont principalement issus d'activités humaines aussi bien rurales qu'urbaines [30]. Le niveau d'eutrophisation des plans d'eau a pour conséquence directe le développement des cyanobactéries. »

La présence et la quantité de plancton, macrophytes et larves jouent également un rôle dans cette prolifération.

Dans leurs travaux de mise en place d'un dispositif de suivi et d'alerte du risque toxique des cyanobactéries (CYANALERT), la Communauté de Communes des Grands Lacs (Parentis, Landes) et l'Inrae rappellent les problématiques sanitaires et les limites de l'approche réglementaire actuelle dans la lutte contre les cyanobactéries :

« Leurs proliférations ont des conséquences non négligeables pour le milieu aquatique car elles créent des déséquilibres environnementaux (diminution de la biodiversité, baisse de la transparence de l'eau, etc.). Plusieurs espèces de cyanobactéries sont aussi connues pour être capables de synthétiser des cyanotoxines qui peuvent provoquer à partir d'une certaine concentration, des troubles gastriques (hépatotoxines), neurologique (neurotoxines), cutanées (dermatotoxines) ou encore avoir des effets néfastes sur la reproduction humaine et animale (Chen et al., 2016). Ces toxines sont pour la plupart intracellulaires, seuls 10 à 20 % de la teneur totale en toxines sont extracellulaires (Anses, 2019). Elles sont donc majoritairement libérées lors de la sénescence, ou mort des cellules. Dans certaines conditions d'exposition, comme les activités récréatives en plan d'eau, le contact ou l'ingestion d'eau contaminée par ces efflorescences peut occasionner des problèmes de santé. »

Le relargage de bactéries vivantes n'implique ainsi pas nécessairement un risque sanitaire immédiat, qui peut être décalé dans le temps par rapport au bloom⁴.

³ Bernard, C. (2014). Les cyanobactéries et leurs toxines. Revue Francophone des Laboratoires, 2014(460), 53-68. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(14\)72405-0](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(14)72405-0)

⁴ Multiplication massive des bactéries

« La réglementation française préconise un suivi et une gestion des zones récréatives selon un arbre décisionnel à trois niveaux d'alerte reposant sur des seuils précis exprimés en nombre total de cellules de cyanobactéries par millilitre. Ces seuils proviennent des dénombrements réalisés au microscope en laboratoire. Un premier seuil de 20 000 cellules/ml correspond au premier niveau d'alerte et déclenche une surveillance visuelle renforcée. Le second seuil de 100 000 cellules/ml correspond au deuxième niveau d'alerte et génère une limitation de la baignade pour réduire les risques sanitaires (Afssa & Afsset, 2006). À partir de ce deuxième seuil, une quantification de la microcystine-LR en laboratoire est réalisée, et lorsque le résultat est supérieur à 13 µg/l, la baignade est interdite et les loisirs nautiques limités. [...] La présence d'efflorescence de surface conduit directement à un niveau d'alerte 3. Dans ce cas, la baignade et toutes les autres activités de loisirs nautiques sont interdites. [...] le dispositif réglementaire actuel n'est pas complètement représentatif du risque réel encouru puisque le résultat du dénombrement ne différencie pas les espèces toxiques des non-toxiques et ne tient pas compte de la taille des individus. En effet, de petites cyanobactéries coloniales assez abondantes, connues pour être non toxiques, peuvent engendrer des mesures de gestion (en dépassant les seuils réglementaires basés sur les comptages) alors qu'il n'y a pas de risques potentiels. À l'inverse, des proliférations moindres de cyanobactéries filamenteuses ou coloniales, connues pour être toxiques et ayant des cellules de tailles importantes, ne déclencheront pas de mesures de gestion alors qu'un risque existe. Enfin, selon la réglementation, seule la microcystine-LR est dosée alors qu'il en existe de nombreux variants toxiques différents, et que celle-ci n'est pas connue comme étant la plus toxique. »

Ces acteurs soulignent aussi des fréquences de prélèvement préconisées contraignantes et des coûts d'analyses élevés.

Pour abaisser dans la réserve le niveau de risque de 2 (restrictions d'activité) à 1 (mesures de surveillances), il serait grossièrement nécessaire de diluer les cyanobactéries d'un facteur pouvant aller jusqu'à x5. **Compte-tenu des volumes et des apports, une telle action est totalement irréaliste en été.**

Les marges de manœuvres existent plutôt sur la maîtrise des relargages de cyanobactérie dans le Boudigau : il s'agit ici de conserver au sein des casiers l'eau touchée par une prolifération des cyanobactéries. En cas d'alerte de niveau 2, un pompage limité à 1/5 du débit du Boudigau n'est pas susceptible d'engendrer des restrictions d'usage à l'aval. Sur alerte de niveau 3, il serait nécessaire d'attendre des conditions météo plus favorable aboutissant à la mortalité effective des cyanobactéries, assorti d'une période de réduction des toxines, avant de recommencer les pompages.

Toutefois, aucune de ces mesures ne permet réellement de limiter la mortalité au sein même de la réserve. Nous n'avons, dans ces conditions, identifié aucune piste d'action efficace basée sur la gestion des apports et du pompage.

2.6 Bilan

Les mesures menées en août 2022 montrent qu'en cas d'étiage marqué un renouvellement des masses d'eau est impossible, les apports étant loin de compenser les pertes. Un renouvellement partiel impliquerait une captation totale des apports et donc la mise à sec du Boudigau sur de nombreux jours. Si la réserve est en mesure de contrôler le risque toxique lié aux cyanobactéries pour les usages nautiques à l'aval, nous n'avons pas identifié de pistes d'actions pour limiter le risque toxique au sein même des casiers.

3 Prédimensionnement sommaire de l'ouvrage déversant

3.1 Ouvrage provisoire actuel

Un seuil provisoire a été établi par la réserve suite aux désordres de l'hiver 20-21. Situé 20cm plus bas que le terrain naturel, positionné sur un point bas existant, il mesure environ 100m.

3.2 Hauteurs de seuil, débit à écrêter

Sur la base des levés lidar, les niveaux du canal Est deviennent problématiques autour d'une cote située entre 4.70m NGF et 4.80m NGF. On considérera 4.70m NGF pour la suite du raisonnement.

Dans l'idéal, le seuil doit permettre de faire transiter l'excès de débit non absorbable par le canal de ceinture, sans que la lame d'eau sur le seuil ne déborde au-dessus de cette cote de la digue.

La capacité du canal de ceinture est fonction de la combinaison minimale entre son rayon hydraulique et sa pente, selon la formule de Manning Strickler.

$$Q=S*Ks*Rh^{2/3}*i^{1/2} \text{ ou } Q= S^{5/3}/P^{2/3}*Ks*i^{1/2}$$

avec Ks le coefficient de Stricker traduisant la rugosité du lit (ici adopté à 30), P périmètre mouillé, S section mouillée, i pente moyenne du cours d'eau.

Sur la base de cette formule, la capacité du canal de ceinture Est au droit des zones vulnérables est estimée à :

- pente très faible de 0.03%,
- Section mouillée de 15m²,
- périmètre mouillé de 10m,

Soit une capacité du canal de 10m³/s. Cette estimation est évidemment très sensible aux hypothèses formulées sur la géométrie du canal de ceinture Est.

Sur la base de la dernière modélisation, le débit de pointe transitant en 2021 serait de 50% du débit de pointe du Mourmaou + 5m³/s d'apports diffus modélisés soit 18m³/s.

Avec cette approche, pour 2021, c'est un pic de surverse de 8m³/s qui serait à écrêter. Toujours selon cette hypothèse, la surverse aurait duré une dizaine d'heures, à intensité variable.

Calcul alternatif : débit moyen à écrêté issu de l'analyse des montées du casier central lors des événements de surverse

Lors de l'événement 20-21, l'élévation du casier central est de 20cm par jour la veille de la brèche, 60cm par jour lors de la brèche. En moyenne, pour ces niveaux d'eau, le volume d'apport est compris entre 650 000m³/j et 2 100 000m³/j. Dans l'hypothèse largement critiquable où tout cet

20 Gestion hydraulique de la réserve naturelle du marais d'Orx - compléments

apport serait fait par surverse, le débit franchissant est ainsi entre 8m³/s avant brèche à 24m³/s en situation de brèche.

Lors de l'événement 2018, l'élévation du casier central est de 7cm par jour autour de la brèche. En moyenne, pour ces niveaux d'eau, le volume d'apport est de 245 000m³/j, le débit franchissant de 2.8m³/s en moyenne.

Devant la recrudescence des événements réputés exceptionnels dans la réserve, on propose deux dimensionnements pour cet ouvrage : l'un adapté aux événements de type 2021, pseudo-cinquantennale⁵, l'autre avec une capacité accrue de 50% réputé capable d'absorber des événements rares.

Les deux approches arrivent au même ordre de grandeur mais le débit de pointe issu de calcul de capacité du canal de ceinture semble sous-estimé (8m³/s sur 4 à 5h au lieu de 8m³/s en moyenne sur 24h, avec un rapport Q_p/Q_j de plus de 2). Il est probable que des apports autres que par surverse y aie contribué. Compte-tenu des valeurs calculées, on propose tout de même de retenir 8m³/s pour la quantité à écrêter pour la crue de 2021 et 12m³/s dans le cadre de crues rares.

3.3 Caractérisation géométrique et hydraulique

On considère pour cet ouvrage une formule standard de seuil déversant latéral à crête épaisse.

La formule de calcul de débit pour ce type de déversoir est :

$$Q = ml \sqrt{2g} H^{3/2}$$

avec l la largeur du déversoir et H la hauteur de la lame d'eau sur celui-ci (vitesse d'approche nulle dans le cas d'un déversoir latéral),

m est un coefficient de seuil pour lequel on retiendra une valeur prudente de 0.35, considérant que la lame d'eau restera mince en utilisation normale.

Ainsi à débit constant et en toute logique, plus le seuil est large, plus la lame d'eau H est mince.

L'inversion de la formule permet de considérer des couples de valeur largeur/hauteur répondant au besoin :

$$l * H^{1.5} = Q / (m(2g)^{0.5})$$

La limitation de la hauteur permet également de limiter les fréquences de recours à ce seuil déversant, les vitesses de surverses et in-fine les affouillements potentiels. On propose ici de retenir :

⁵ Avec toutes les réserves sur la caractérisation statistique de cette occurrence, cf. chapitres suivants
Gestion hydraulique de la réserve naturelle du marais d'Orx - compléments

- une valeur maximale admissible de H de 0.4m
- une valeur recommandée de H de 0.2 m

En conséquence, la largeur minimale du seuil latéral épais pour les débits cibles est la suivante :

Largeur minimale du seuil	Événement 20-21 ($Q_{\text{surverse}}=8 \text{ m}^3/\text{s}$)	Événement rare ($Q_{\text{surverse}}=12 \text{ m}^3/\text{s}$)
H<40cm	20 m	30 m
H<20cm	58 m	86 m

Les valeurs extrêmes risquent d'engager des coûts et impacts trop importants sur la réserve d'Orx. Il pourrait être plus prudent de fixer comme objectif un seuil de l'ordre de 58m à une cote de 4.50m NGF. Dans cette hypothèse, le seuil aurait été actif au maximum 150j⁶ depuis 2000, ce qui est toutefois loin d'être négligeable.

L'abaissement de la cote pour réduire la largeur et augmenter la hauteur d'eau nous semble une mauvaise piste : les jours de sollicitation sont doublés.

A contrario, un seuil de 58m calé à 4.70m NGF avec confortement des points bas résiduels (recharge de la digue) limiterait les surverses à maximum 51j depuis 2000.

3.4 En résumé

On recommande un seuil d'environ 60m de large, calé au plus bas à 4.50m NGF, au plus haut à 4.70m NGF avec confortement des points bas jusqu'à 4.90m NGF. Une variante possible : seuil de 20 à 30m calé à 4.50m NGF avec confortement des points bas équivalent.

L'aménagement provisoire réalisé par la réserve semble ainsi, en l'état et en l'absence d'érosion liées à son utilisation, correspondre aux besoins d'un événement du type rencontré en 2018 ou 2021.

3.5 Pistes complémentaires d'intégration

Les vitesses de déversement rendent difficile à impossible la pérennité du déversoir sans protections ou avec uniquement des solutions douces. Elles sont toutefois bien moindres dans le cas d'une faible hauteur de surverse. Un travail sur le revêtement et sur la fosse de dissipation pourra être mené mais le caractère non végétal du déversoir sera difficilement évitable.

La limitation des hauteurs de surverses à 20cm et en conséquence des vitesses sous les 3m/s permet d'envisager des solutions mixtes du type géotextile semi-synthétique, renforcé (cloutage par pieu

⁶ Maximum déduit des niveaux constatés dans le canal. La présence du seuil aurait accéléré l'abaissement du niveau, réduisant en réalité le nombre de jour excédant 4,50m NGF.

bois, armature treillis, géoalvéoles ou autre solution permettant de supporter les contraintes d'écoulement), végétalisé.

Par végétalisé, s'entend bien sûr uniquement une végétation rase, sans implantation d'arbustes ou buissons, avec fauchages réguliers pendant la période de crue.

La piste du seuil partiellement sacrificable végétalisée pourrait être tentante, mais elle semble incompatible avec l'objectif de limitation des volumes de pompage. Elle reviendrait à avoir la situation de 2021, de manière maîtrisée mais plus fréquente.

4 Crues du marais d'Orx en l'absence d'ouvrages

4.1 Principe général

Le Conservatoire du Littoral est régulièrement interrogé sur l'impact de la réserve sur les dynamiques de crues du bassin du Boudigau. En outre, les multiples surverses des ouvrages lors des épisodes de pluies soutenues, les coupures de la départementale 71, les besoins de pompes liés aux surverses et au stockage de l'eau dans les casiers central et barrage suscitent des réflexions sur une gestion optimisée de cette problématique. Afin d'illustrer le rôle réellement joué par la réserve sur le laminage (ou l'aggravation éventuelle des conséquences) des crues du Boudigau, un modèle hydraulique "absence d'ouvrage" doit permettre de reconstituer et caractériser un écoulement non influencé.

On reconstituera ainsi la réaction d'un bassin naturel aux événements récents (hiver 2020-2021 en particulier), et à un ou plusieurs événements théoriques plus rares (de type pluie centennale par exemple).

Il permettra en outre d'apprécier le fonctionnement hydraulique du site pour des débits de l'ordre de grandeur du module (mais pas pour l'étiage, les phénomènes d'évaporation et les relations avec la nappe devenant prépondérants sur l'hydraulique à surface libre).

Il était initialement prévu d'utiliser une approche semi-distribuée, combinant les méthodes rationnelles par sous-bassin réalisées en 2015/2017 et un modèle hydraulique 2D Telemac s'appuyant sur les campagnes topographiques

Afin de fiabiliser l'approche hydrologique (transformation de la pluie en débit de crue), et de tirer parti au mieux de l'état de l'art des pratiques⁷, on a ici finalement fait le choix d'un modèle entièrement distribué combinant Telemac2D et méthode SCS.

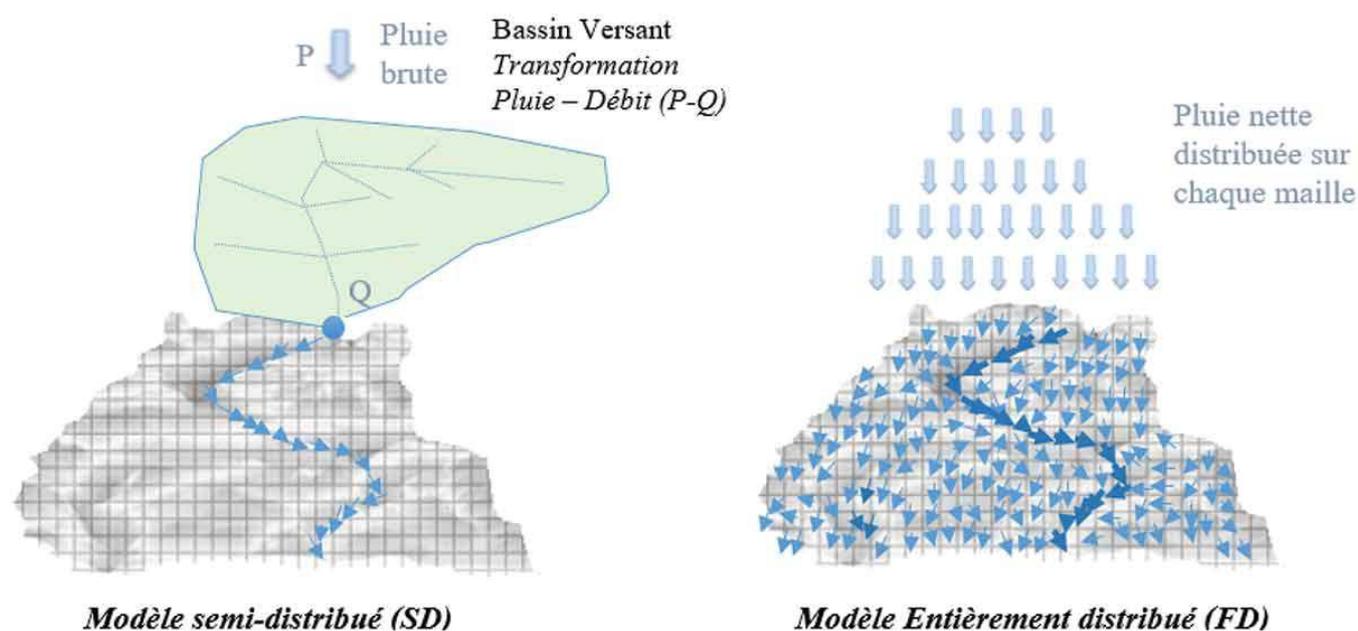


Figure 11: principes de modélisation initial et révisé (Piveteau et al. 2021)

⁷ Par exemple rappelé en 2021 par Piveteau et al dans Hydroscience Journal v107
<https://doi.org/10.1080/00186368.2021.1912961>

Compte tenu de l'objectif mené, la modélisation est effectuée après arasement ou formation de brèches dans les digues. Les vannes, busages et ponts sont également rendus transparents. (cf. 3.2)

4.2 Données et hypothèses

Le modèle couvre le bassin versant du Boudigau matérialisé en 2015. La topographie et la bathymétrie sont issues :

- prioritairement du fichier composite bathymétrie topographie des casiers livré par l'UNIMA au conservatoire du littoral en 2021,
- complété par le RGEalti IGN 1m (2018) sur le reste du bassin (issu de levés Lidar sur le domaine d'étude)

Le couvert végétal et la nature même des levés lidar imposent en outre une reprise du lit mineur du Boudigau pour matérialiser une bathymétrie plus réaliste.

On se cale de part et d'autre du seuil situé dans un espace dégagé entre D810 et voie ferrée pour affecter en amont une cote de fond à 2,20m NGF et en aval une cote de 0.8mNGF⁸.

Il est à noter que sur la partie amont du Boudigau, on fait l'hypothèse d'une profondeur plus importante (de l'ordre de 0,6m) dans le Boudigau que dans la modélisation hydraulique de 2015 (qui considérait plutôt le miroir d'eau le jour du levé lidar). La pente globale est toutefois sensiblement conservée.

Cette hypothèse mériterait d'être discutée. La quantité d'eau retenue "de manière permanente"⁹ dans le casier barrage est sensible à la cote de fond du Boudigau. On fait ici l'hypothèse d'une connexion totale du casier au Boudigau, de points hauts éventuels qui seraient arasés par les crues, et d'une fixation du fond du lit par les seuils. D'autres évolutions imprévues ou des aménagements différents auraient des conséquences sur la superficie émergée (ou non) des îles du casier barrage.

Les rugosités du modèle, affectées à chaque point de maille, sont issues de l'occupation des sols recensée dans la base de donnée Corinne Land Cover. La précision de représentation est dépendante de cette base, aussi certains éléments géométriques de faible largeur, comme une rigole béton ou une piste en enrobé peuvent ne pas apparaître dans ces rugosités. Le choix d'un modèle avec ouvrages effacés limite toutefois l'impact de ce choix. La rugosité des mailles du lit du Boudigau est ajustée manuellement pour corriger cet écueil sur ce secteur sensible.

La table des correspondances rugosités/occupation des sols est fournie en annexe. Ces valeurs ont fait l'objet d'un calage et d'une vérification sur deux territoires par le Cerema Sud-Ouest : l'estuaire de la Gironde et les affluents de la Garonne en amont de Bordeaux.

Le nombre de courbe (curve number) de la méthode SCS, lui aussi affecté à chaque point de maille, est également déduit de l'occupation des sols Corinne Land Cover. Le tableau utilisé est fourni en annexe. La capacité du sol à l'infiltration (classes A à D) est déduite de la base de texture des Sols

8 Cote probablement trop basse en ce point, mais qui permet une évacuation "libre des écoulements à la sortie du domaine d'étude"

9 ie. hors évaporation ou infiltration

BDGSF du BRGM. Sur le secteur d'étude, hormis les régosols sableux très favorables à l'infiltration à l'aval, on considère ici des classes de sol B (favorable à l'infiltration) pour les Fluvisols, Luvisols et Podzols couvrant le bassin versant. Par extension, cette valeur est également adoptée pour le fond du marais, non qualifié par le BRGM.

Pour les précipitations, l'étude 2017 a permis de caractériser, par méthode rationnelle, le temps de concentration global du bassin versant du marais d'Orx. Un intervalle de 3 à 6h permet de rester prudent compte tenu de l'aspect rudimentaire de l'approche.

On se fonde sur les études de coefficient de Montana à la station Biarritz (station de référence la plus proche) pour qualifier les pluies statistiques attachées à ce temps de concentration.

Sur 52 ans de mesures, Météofrance fournit ainsi les intensités suivantes :

Durée de retour	Hauteur précipitée sur 3h (mm)	Hauteur précipitée sur 6h (mm)	Hauteur indicative précipitée sur 24h
2 ans	32	41	69
5 ans	43	55	91
10 ans	51	65	106
50 ans	67	85	129
100 ans	73	93	152

Figure 12: pluies statistiques sur le marais d'Orx

En comparaison, la pluie exceptionnelle du 20 décembre 2020 (ayant engendré des brèches) se rapprocherait selon Météo-France de la cinquantennale. Il est toutefois possible que la station de Biarritz soit naturellement plus "sèche" que le marais d'Orx.

Les événements récents illustrent que les situations problématiques sur le marais se situent dans des périodes hivernales où des précipitations antérieures ont déjà saturé en eau le bassin versant. Les conditions initiales prises dans la modélisation prendront ainsi en compte un remplissage initial assez important de la réserve. Ainsi, le stade initial de remplissage considéré est suffisant pour alimenter un débit de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}^{10}$ sur le Boudigau. Une première pluie de faible intensité (1mm/h sur 6 heure) est également injectée de 7 à 1h avant la pluie étudiée pour mettre en eau les drains amonts.

4.3 Descriptif du modèle

Le modèle réalisé comporte 660 000 mailles de tailles fortement variables : deux domaines sont délimités. Les zones tout à l'amont et à l'aval de la zone d'étude sont grossièrement maillées, avec une taille moyenne de 100m. Les coteaux, fonds de vallées, la réserve naturel et les premiers km du Boudigau sont représentés bien plus finement, avec une largeur de 5m en moyenne Il est ainsi

10 A titre de comparaison, un débit similaire a été jaugé en aval le 18/05/2013, dans des conditions de beau temps mais faisant suite à une période humide. Les niveaux historiques relevés sont difficilement intégrables : en l'absence de digue et de pompes, il n'y a pas de preuve qu'ils puissent être respectés : la crue de 2020 est précédée d'environ 50j de pompage !

possible de visualiser les canaux de ceinture, talus et digues non arasées présentes sur Lidar. En outre, le maillage intègre les tronçons de la BD Topage 2019 comme lignes de contraintes. Ainsi, et sous réserve de la validité de ces tronçons, des sommets sont systématiquement placés en lit mineur des cours d'eaux permanents et le maillage est ajusté le long de ces cours d'eau. A titre d'information, le modèle sur un PC standard récent prend, dans cette configuration, environ 1h de calcul par jour simulé.

Rappelons qu'il n'existe aucun jaugeage de crue sur le bassin (aménagé ou pas), un processus de calage dans les règles de l'art n'est donc pas possible. On tire toutefois des enseignements du calage des CN sur d'autres bassins versants de la région. En outre, les valeurs des crues débits de pointes décennaux seront comparées aux précédentes estimations pour s'assurer de la cohérence de l'ensemble. Pour le débit de fuite du Boudigau, on testera les conséquences d'une diminution de 30% de la rugosité sur les débits de pointe.



Figure 13: superposition du maillage à l'orthophoto au droit de l'accueil de la réserve.

En bleu : tronçons Topage 2019

Des brèches sont créées tout au long des digues séparant les casiers et les canaux de ceinture. Les digues séparant les différents casiers sont arasées, hormis les sections supportant la RD. Le niveau considéré à chaque fois est celui du terrain naturel en retrait de la digue.

Les CN varient fortement : de 45-55 dans les zones à fort couvert forestier à plus de 90 sur les parcelles urbanisées et les infrastructures majeures.

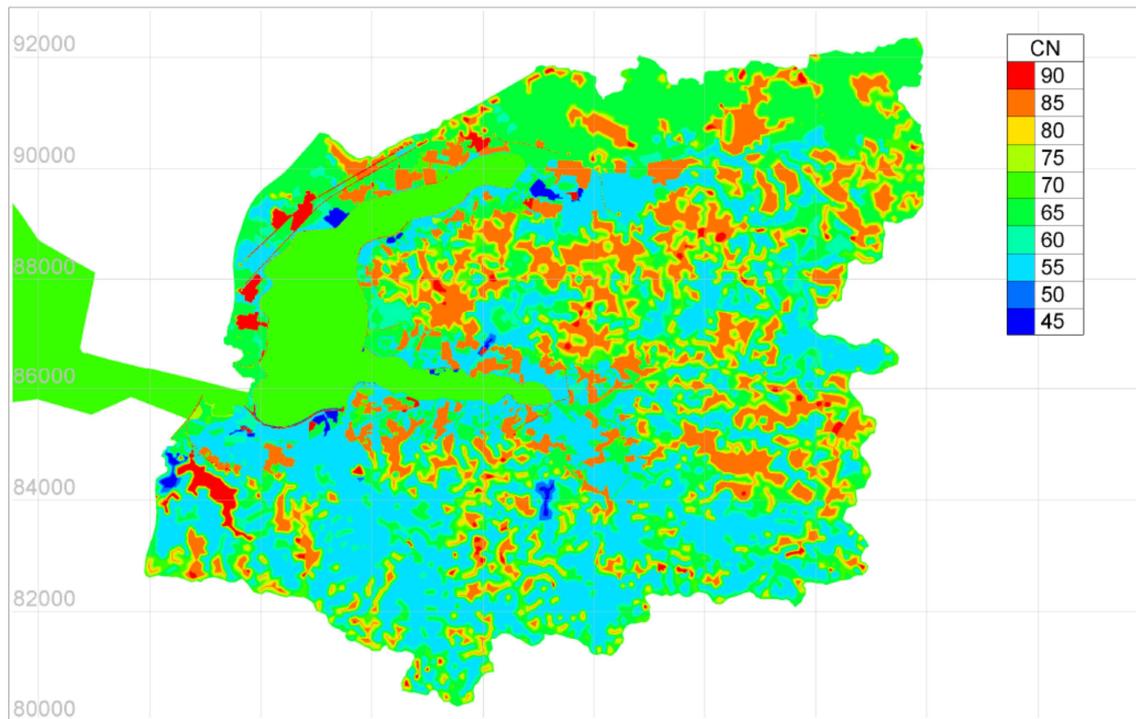


Figure 14: paramétrage de la méthode SCS sur le bassin versant du marais d'Orx

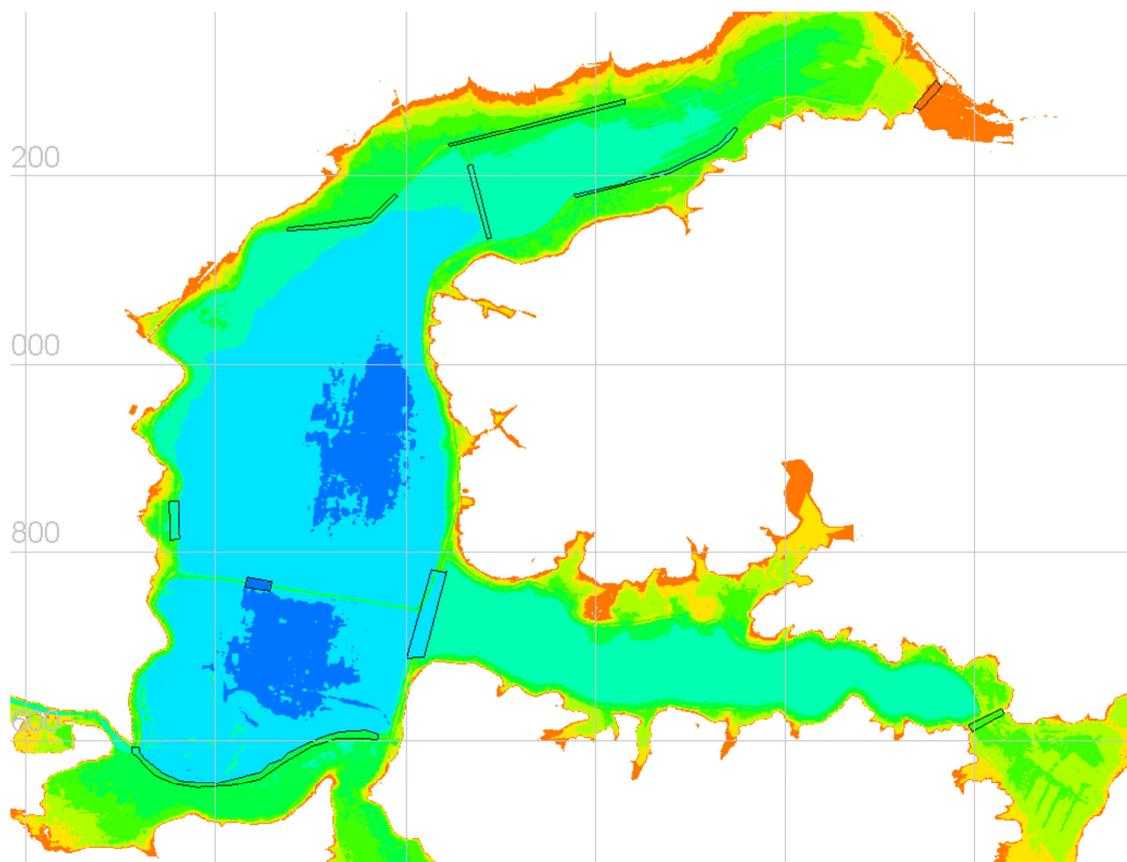


Figure 15: encadrement des zones où la topo des digues à été modifiée pour permettre les écoulements (nota : l'intégralité de la RD reste maintenue, mais il n'y a plus de régulation entre casier central et barrage)

4.4 Scénarios modélisés

Le scénario de base est celui fondé sur les cumuls très importants de l'hiver 2020. La simulation représente 14 jours d'écoulement. Les valeurs d'entrées sont extraites des données Météofrance au pas de temps 1h¹¹, puis comparées à celles transmises au pas de temps journalier par la réserve. Il est à noter que si les cumuls sont similaires, la répartition du pic se fait sur 2j calendaires pour Météofrance et le pic est, de manière générale, plus étalé (intensité maximale de 92mm sur 24h, soit une période de retour entre 5 et 10 ans au lieu de 50 ans). La rareté relative de l'événement provient alors plutôt de la succession de nombreux jours très pluvieux.

	Réserve	Météofrance
3-déc.-20	1,5	6,2
4-déc.-20	16	70,3
5-déc.-20	124	68
6-déc.-20	33	23,8
7-déc.-20	26	39,5
8-déc.-20	33	48,8
9-déc.-20	19	9,6
10-déc.-20	38	32,4
11-déc.-20	24	20,4
12-déc.-20	24	7,2
13-déc.-20	1	0,8
14-déc.-20	0	1,4
15-déc.-20	7	2,2
16-déc.-20	0	0
17-déc.-20	0	0,6
18-déc.-20	0	0,2
cumul total	346,5	331,4

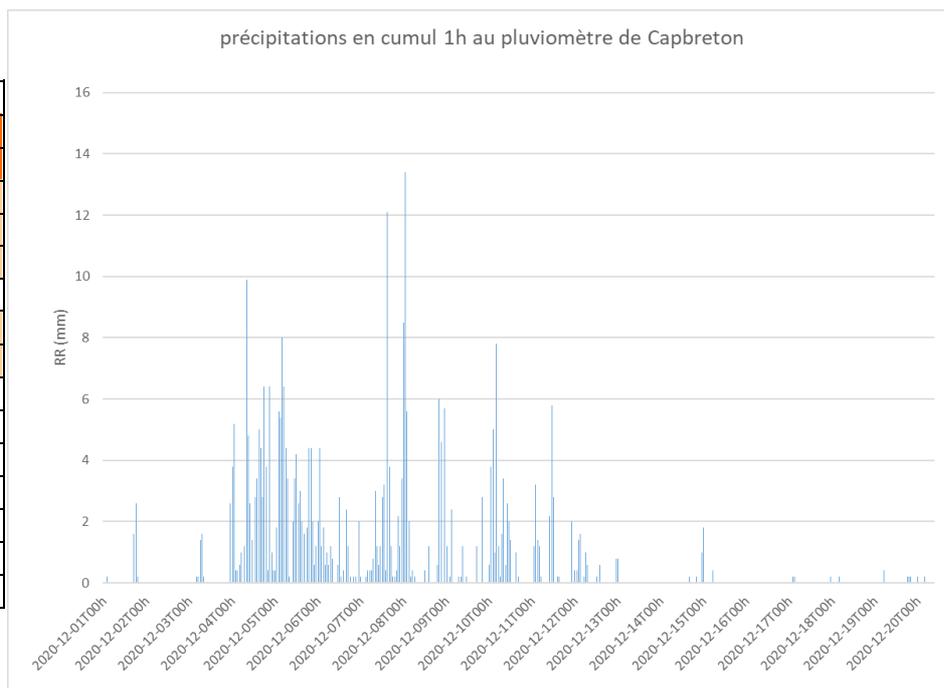


Figure 16: pluies introduites pour la modélisation de l'hiver 20-21

Le second scénario est fondé sur l'hiver 2018, avec là aussi des précipitations répétées et des dégâts sur la digue est. Pour des raisons de capacité de calculs, la simulation débutera le 6 janvier, mais, pour tenir compte des pluies du 29/12, 02/01 et 03/01, le remplissage initial du marais sera plus fort (+23cm, et un débit de fuite porté en conséquence à m³/s) Sur cet événement, les cumuls Météofrance ne sont pas cohérents avec les observations de la réserve (bien moindres, voir décalés en date). On se basera uniquement sur les pluviométries journalières de la réserve, sans variation horaire.

¹¹ Données en TU, donc décalage d'1heure

Figure 17: pluies introduites pour la modélisation de l'hiver 17-18

Le troisième scénario vise à qualifier la réaction du bassin "naturalisé" à une pluie "triangle" de période de retour 10 ans sur 3h et 10 ans sur 6h. Ce scénario pourra être comparé aux estimations réalisées dans l'étude de 2017.

Le quatrième scénario vise à qualifier la réaction du bassin "naturalisé" à une pluie de période de retour 100 ans sur 3h et 100 ans sur 6h.

scénario 3		scénario 3bis		scénario 4		Scénario 4bis	
T(h)	intensité (mm/h)	T(h)	intensité (mm/h)	T(h)	intensité (mm/h)	T(h)	intensité (mm/h)
1	12	1	5	1	18	1	7
2	27	2	10	2	37	2	13
3	12	3	18	3	18	3	27
4	0	4	17	4	0	4	26
5	0	5	10	5	0	5	13
6	0	6	5	6	0	6	7
7	0	7	0	7	0	7	0
8	0	8	0	8	0	8	0
9	0	9	0	9	0	9	0

Figure 18: pluies introduites pour les crues théoriques "intenses"

4.5 Résultats, critiques

Durée de vidange des casiers fusionnés, après remplissage exceptionnel

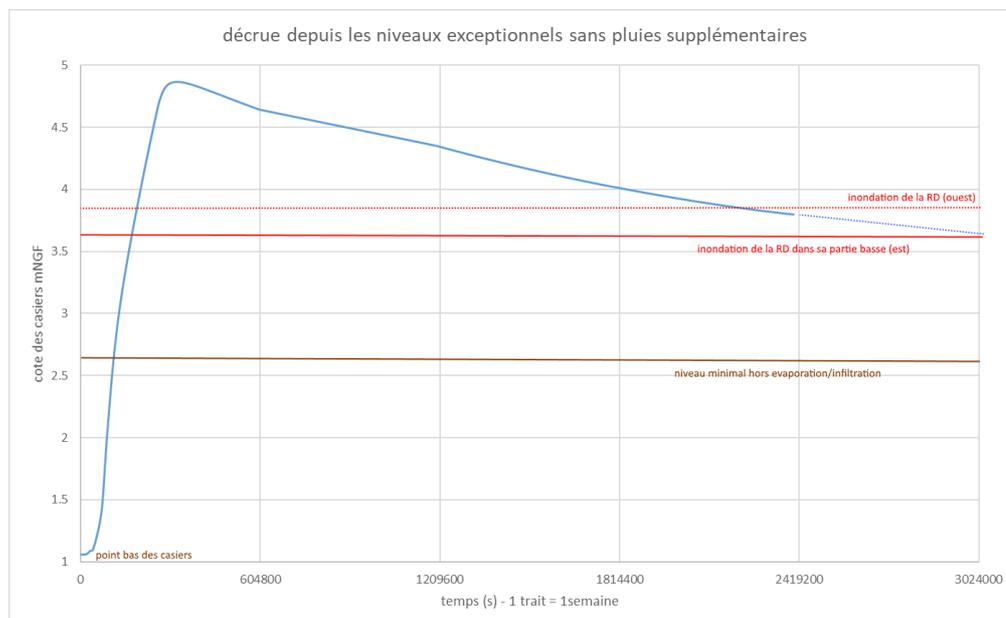


Figure 19: décrue des casiers en l'absence de précipitation supplémentaires

Sous les conditions de modélisations adoptées, la décrue des casiers est relativement lente. Les courbes ci-après décrivent l'évolution de la surface libre (en mNGF) après un remplissage important du marais, depuis un état initial vide, submergeant largement la RD.

Dans ces conditions, le modèle illustre une décrue assez lente, liées aux capacités limitées de la partie amont du Boudigau. La baisse naturelle du niveau d'eau est de l'ordre de 30cm par semaine, avec un ralentissement lorsqu'on s'approche du niveau le plus bas hors pertes (2,60m NGF).

Dans cet exemple (extrême), la surverse très conséquente de la RD engendrerait une indisponibilité de 1mois de l'axe si aucune pluie n'ajoutait des volumes supplémentaires !

Cette simulation, dans ces conditions, illustre un débit naturel du Boudigau assez faible lié à l'étalement des crues dans la réserve initialement vide : la pointe ici simulée est à $13\text{m}^3/\text{s}$ et décroît ensuite jusqu'à $3\text{m}^3/\text{s}$ alors que les valeurs en entrée de casier excèdent ici les $100\text{m}^3/\text{s}$!.Ce laminage est bien sûr moins important dans les simulations plus réalistes avec un remplissage initial conséquent...

La cote de la RD serait ainsi très nettement insuffisante et ses fermetures hivernales fréquentes. Dans sa configuration actuelle, la réserve semble ainsi protéger la RD des inondations.

Scénario 3

Le scénario 3 est modélisé sur un remplissage initial élevé des marais identique à l'hiver 2018 (sur un scénario "sec", cette pluie courte et intense serait largement absorbée avant d'atteindre le Boudigau).

Ce scénario, négligeable en volume total, engendre une variation du plan d'eau de moins d'1cm et de 20l/s sur le débit du Boudigau. Le résultat général n'est pas très probant : le modèle absorbe une large partie des précipitations qui n'atteignent pas le marais d'Orx. On atteint ici les limites de la modélisation : sur ces pluies courtes, l'état initial du bassin semble déterminant. On va ainsi modifier les scénarios 3bis et 4 bis en injectant au préalable une pluie faible (2mm/h) sur 6h pour pouvoir observer une réelle réaction des bassins.

Le modèle laisserait toutefois penser que les temps de réaction des bassins sont plus long (de 3 à 6h) que ce qui était envisagé dans l'étude de 2017.

Scénario 3bis

Même remarque que pour le scénario 3

Les résultats sont peu significatifs

Scénario 4

Même remarque que pour le scénario 3

Les résultats sont peu significatifs

Scénario 4bis

Même remarque que pour le scénario 3

Les débits du Navachon+Moura Blanc et du Mourmaou sont tous deux observés à 22m³/s en pointe.

Le temps de concentration des grands bassins est légèrement inférieur à 6h pour la centennale. Le bassin versant complet réagit entre 1 et 6h après le pic de précipitation (soit entre 4 et 9h après le démarrage de l'événement).

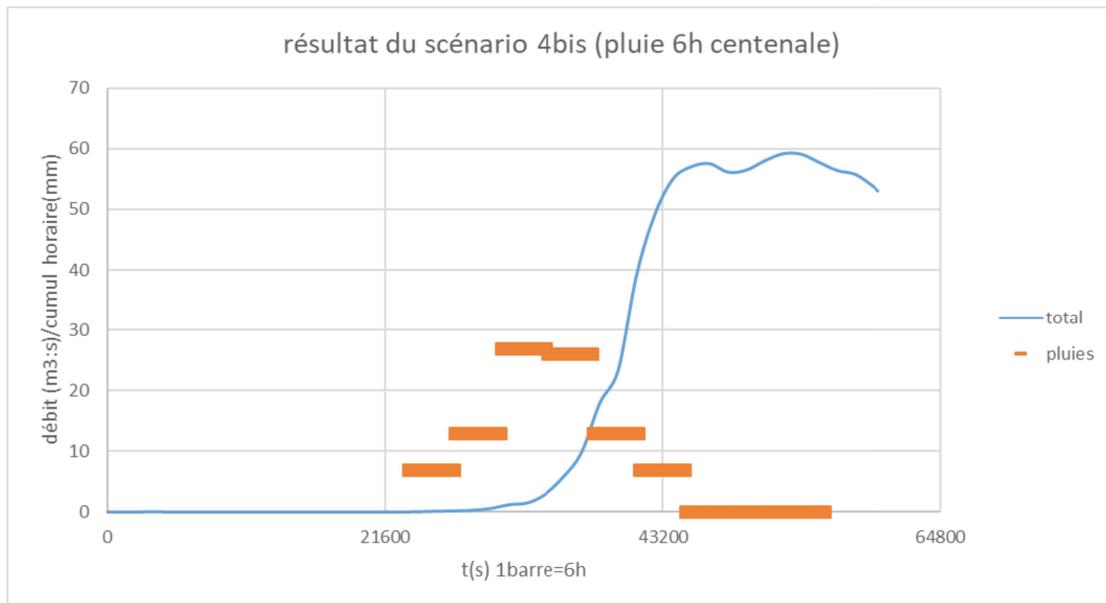


Figure 20: débits totaux entrants et sortant dans la simulation centennale 6h

Hiver 2018

Pour rappel, la modélisation de l'hiver 2018 se base sur les pluies journalières mesurées par la réserve. Plusieurs pluies intenses ayant été observées avant cette période, la cote initiale est volontairement élevée.

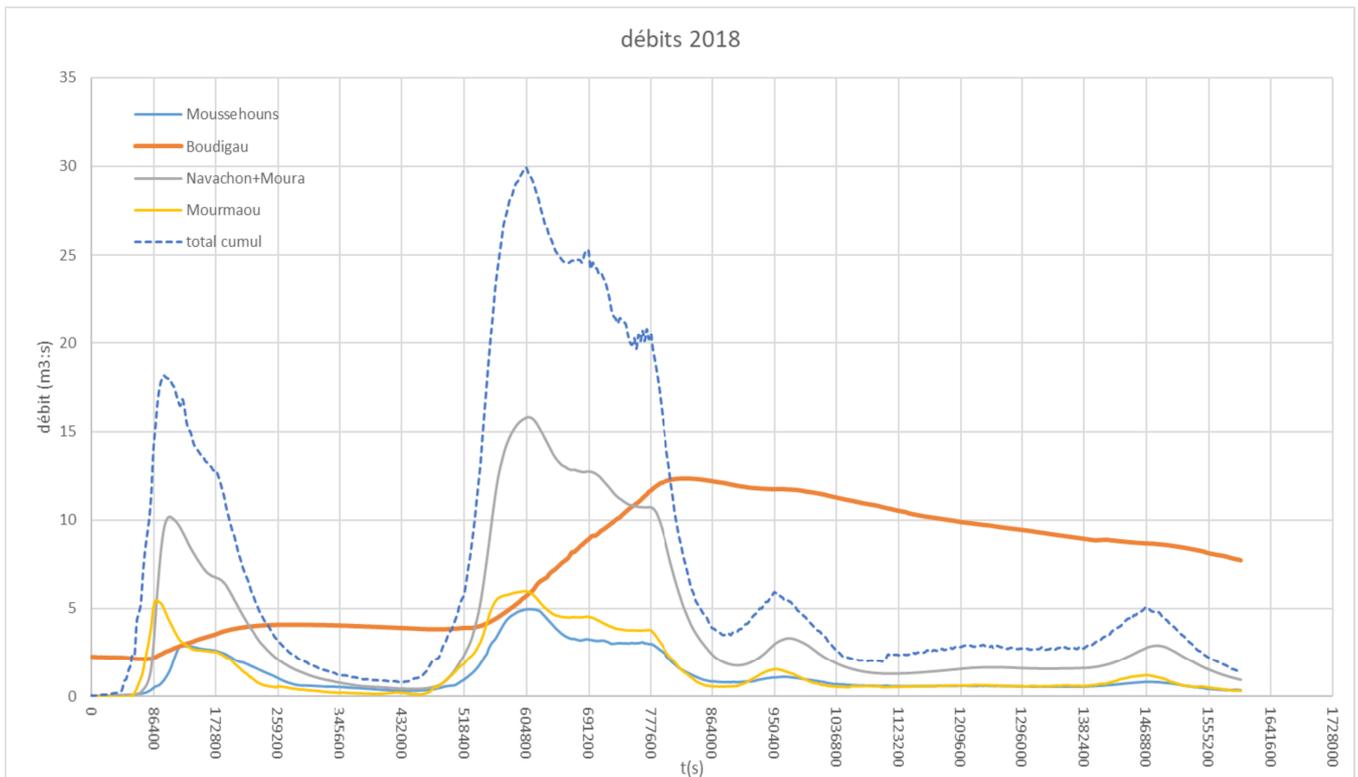


Figure 21: débits entrants et sortant dans la simulation de l'événement 2018

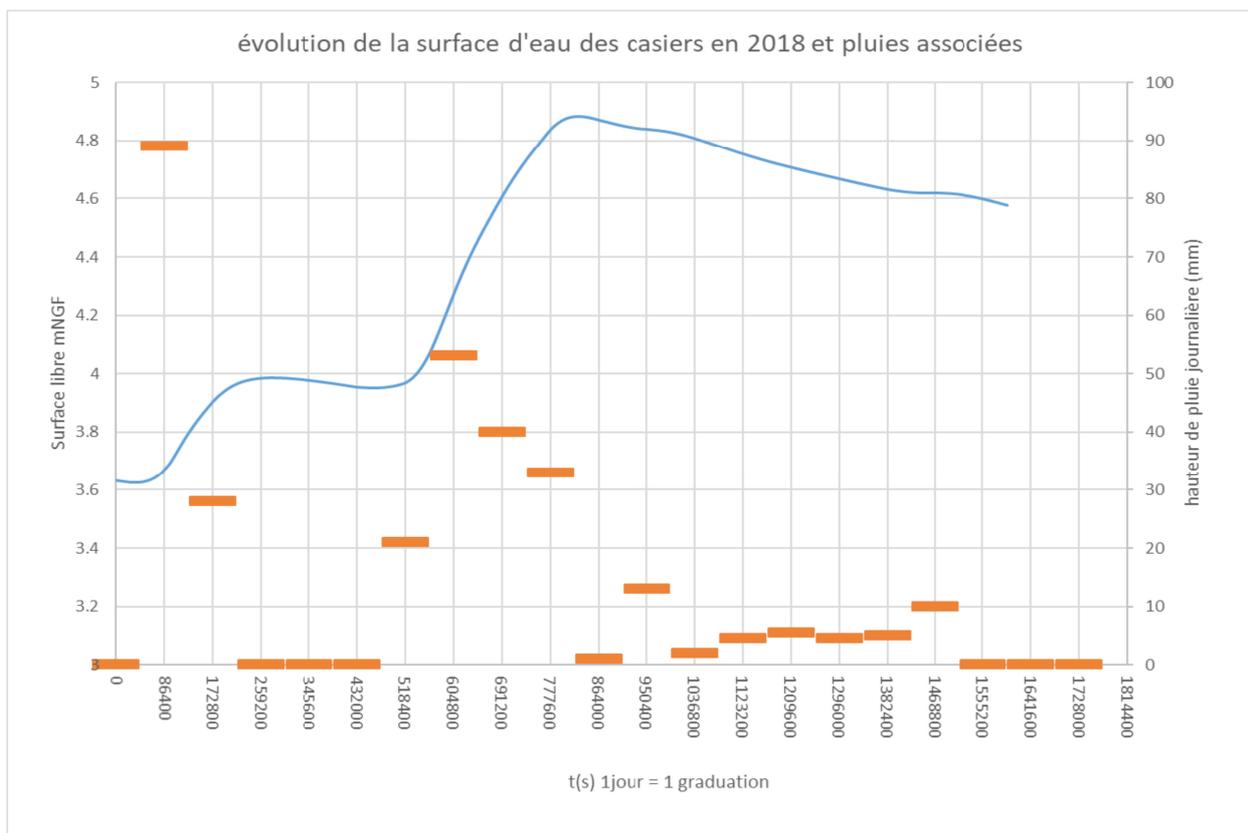


Figure 22: réponse des casiers aux précipitations mesurées par la réserve lors de l'événement 2018

La crue provoque une élévation générale du plan d'eau de 1,2m, la décrue est ensuite assez lente (22cm/semaine), sur le rythme identifié lors des premiers tests ralenti par quelques pluies supplémentaires.

On estime que la cote de départ n'a, à ces niveaux, qu'une influence limitée sur l'ampleur de la montée des eaux et le débit sortant du Boudigau. Il apparaît raisonnable d'affirmer qu'une cote de Gestion hydraulique de la réserve naturelle du marais d'Orx - compléments

départ de 3m NGF (peu réaliste compte tenu des pluies précédant la crue) aboutirait à un niveau atteint autour de 4,40m. Dans tous les cas de figures la crue est suffisante pour entraîner une coupure durable de la route.

Le laminage introduit sur les crues est très important (60% environ, et 2j de retard sur la pointe de crue). Le marais assure un étalement majeur des crues et la conservation de débits du Boudigau autour de son débit estimé de plein-bord.

Les résultats, que ce soit dans leur dynamique ou dans les débits modélisés semblent très cohérents avec notre connaissance du réseau hydrographique et du bassin versant.

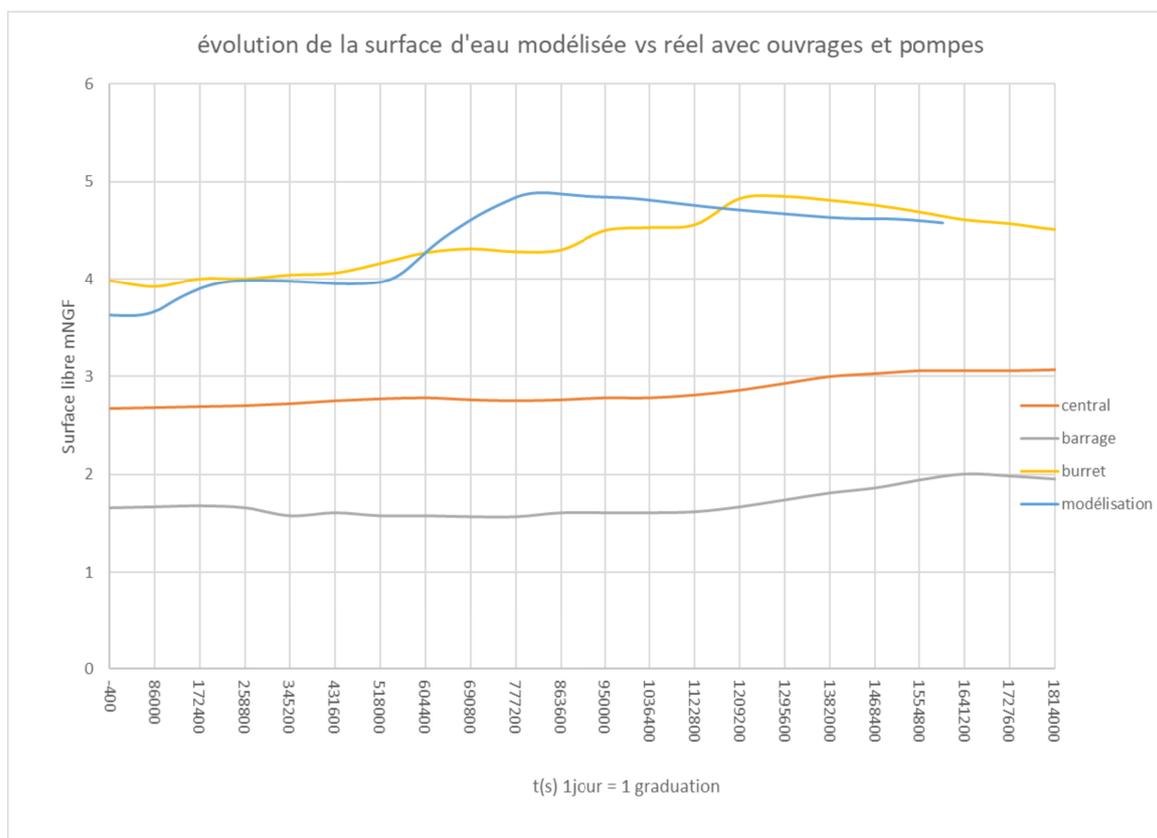


Figure 23: "comparaison" entre état observé avec ouvrages et pompages et état modélisé sans ouvrage

La comparaison entre la modélisation et la situation observée est hasardeuse : l'état initial considéré n'est pas le même. L'effet de la rupture de digue sur le canal est n'est pas franchement observable, il peut certainement être associé à la hausse tardive sur le casier central puis casier barrage.

Les pompages opérés avant et pendant l'événement ont très clairement limité le remplissage des casiers et protégé la RD d'une longue coupure. Ils ont vraisemblablement eu comme conséquences de porter le Boudigau à un débit significativement plus élevé qu'en situation naturelle, et ce sur une période plus longue. Ils ont également potentiellement permis un retour à la normale plus rapide.

Hiver 2020-2021

Au démarrage de la simulation, la cote d'eau est relativement élevée (3,48mNGF) mais le Boudigau est à un débit relativement modéré (débit du Boudigau de 1,8m³/s). Ce niveau est bien plus élevé de ce qui a été effectivement observé en décembre 2020 dans le casier barrage, mais un pompage quasi continu depuis septembre avait alors été opéré, et les casiers Nord et Burret remplis à une cote supérieure.

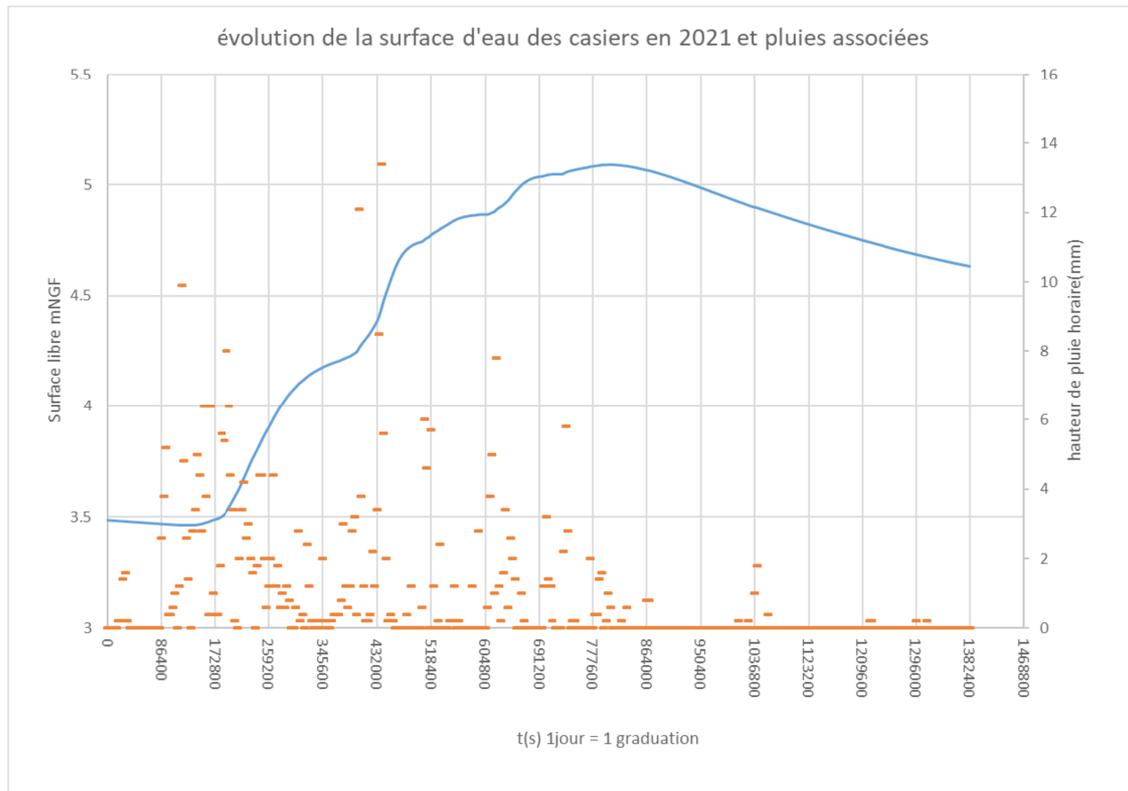


Figure 24: réponse des casiers aux précipitations mesurées par Météofrance lors de l'événement 20-21

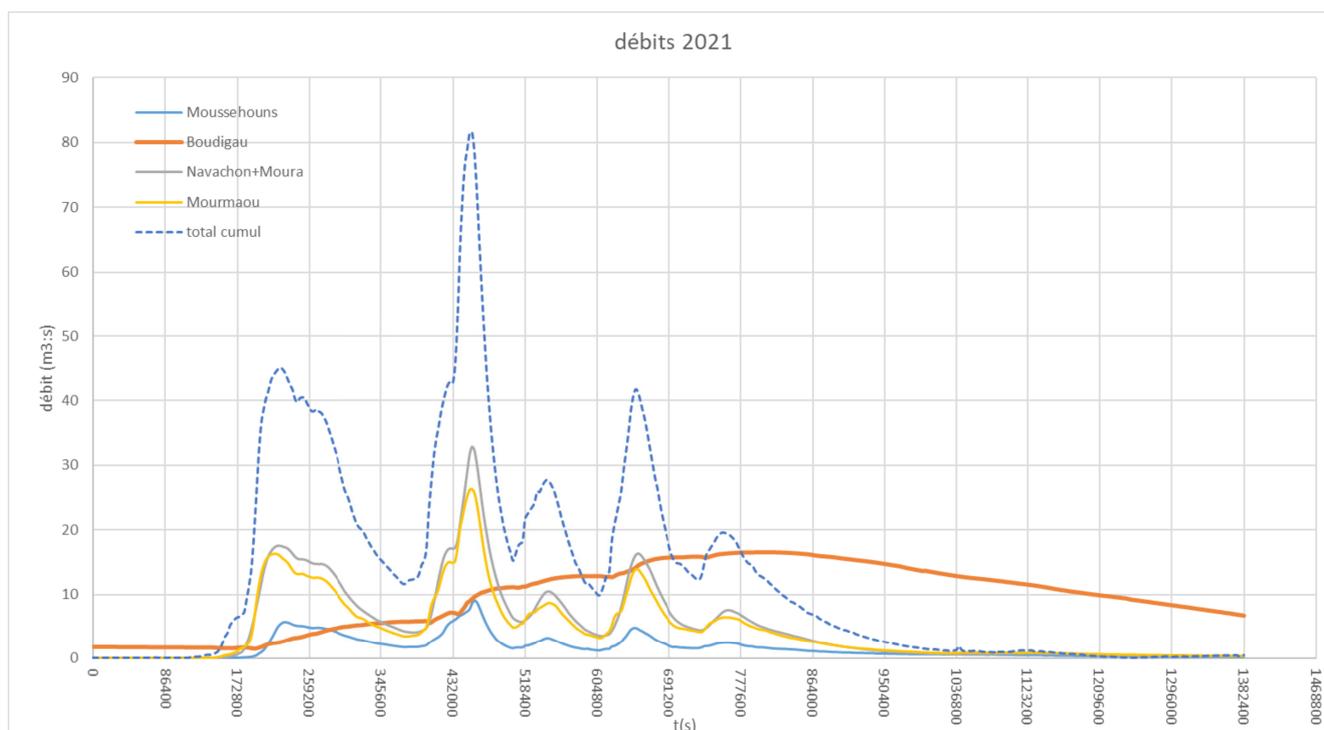


Figure 25: débits simulés pour l'événement 20-21

La simulation de l'événement 20-21 aboutit à des débits bien plus importants qu'en 2018, excédant très largement les estimations de débit décennal formulées précédemment avec un débit de pointe de l'ensemble des affluents du marais de $80\text{m}^3/\text{s}$ (en situation réelle, la présence importante de terrains de forêts et marais pourrait potentiellement étaler ce pic "très pointu"). Ce débit excède également les valeurs centennales théoriques retenues pour l'étude.

Le débit journalier correspondant reste contenu à environ $40\text{m}^3/\text{s}$, signe d'une période de pluie intenses sur quelques heures, précédées de pluies importantes ayant déjà mis en crue les affluents. On note en particulier une contribution du Mourmaou bien plus importante que les précédentes simulations. Même soumis à ces conditions exceptionnelles, le débit "naturel" du Boudigau reste faible, en raison d'un laminage très important simulé.

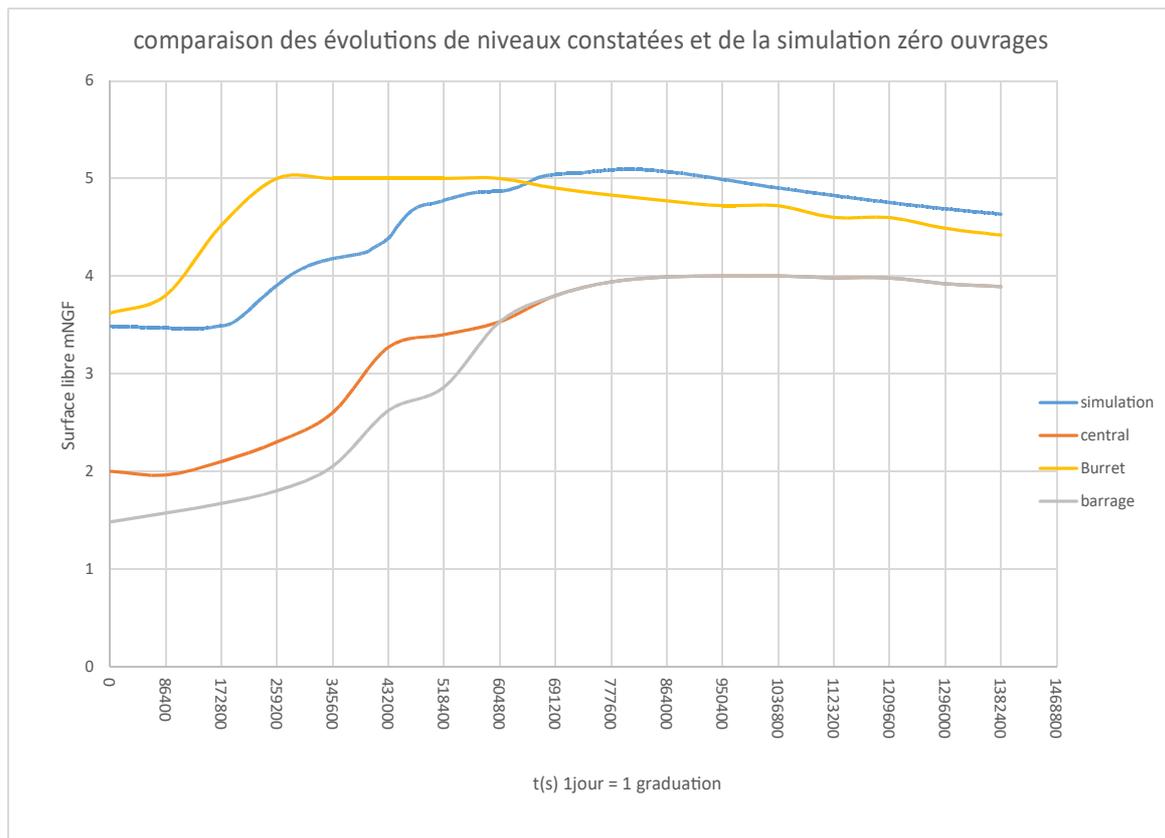


Figure 26: hauteurs "comparées" pour l'événement 20-21

Avec les mêmes réserves que pour la simulation de 2018, il est possible de comparer niveaux observés et simulés (hors marais nord non enregistré). Les évolutions sont similaires entre modèle et observations sur 20-21. Le pompage permet un niveau de départ plus faible en situation réelle mais l'ensemble du système est rapidement dépassé par l'ampleur de l'événement, notamment en raison des brèches. Le fonctionnement de la réserve se rapproche alors du fonctionnement naturel.

4.6 Emprises inondées par la crue de 2021 dans quelques zones d'intérêt

Les résultats présentés ci-dessous illustrent l'emprise maximale de la crue de 2020-21. Un traitement a été effectué pour regrouper les surfaces inférieures à 500m². A noter également que la précision est plus forte autour du marais que sur les hauts du bassin versant, aussi des aplats plus grossiers sont visualisables en tête de bassin.

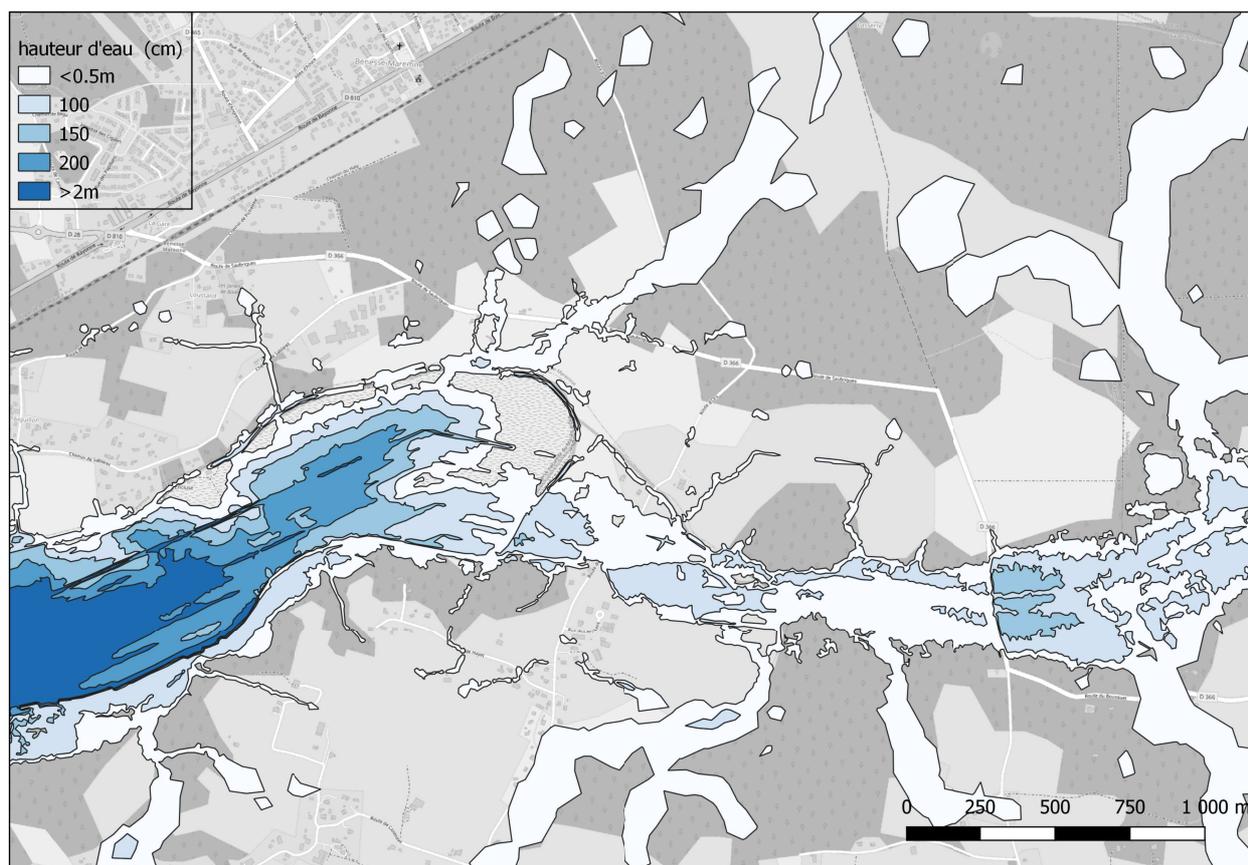


Figure 27: emprise maximale en tête de casier Nord

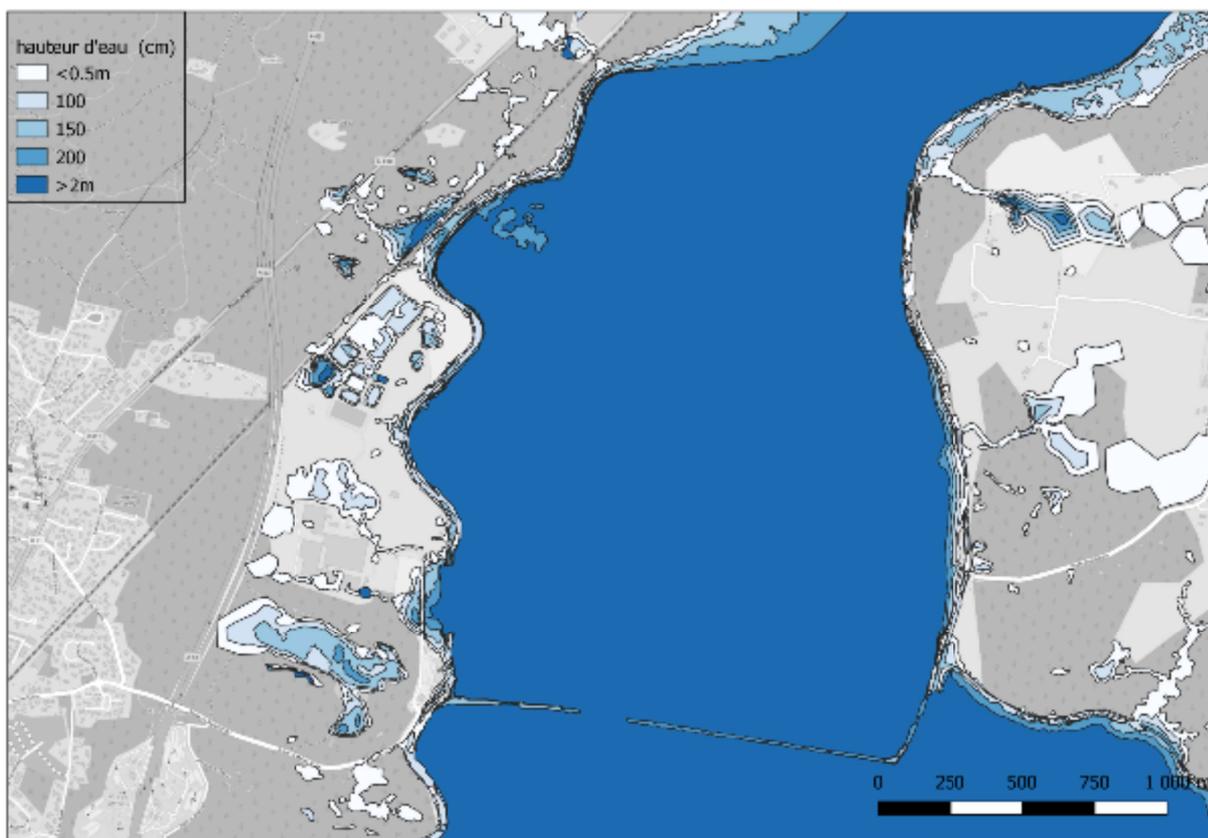


Figure 28: emprise maximale sur le casier central

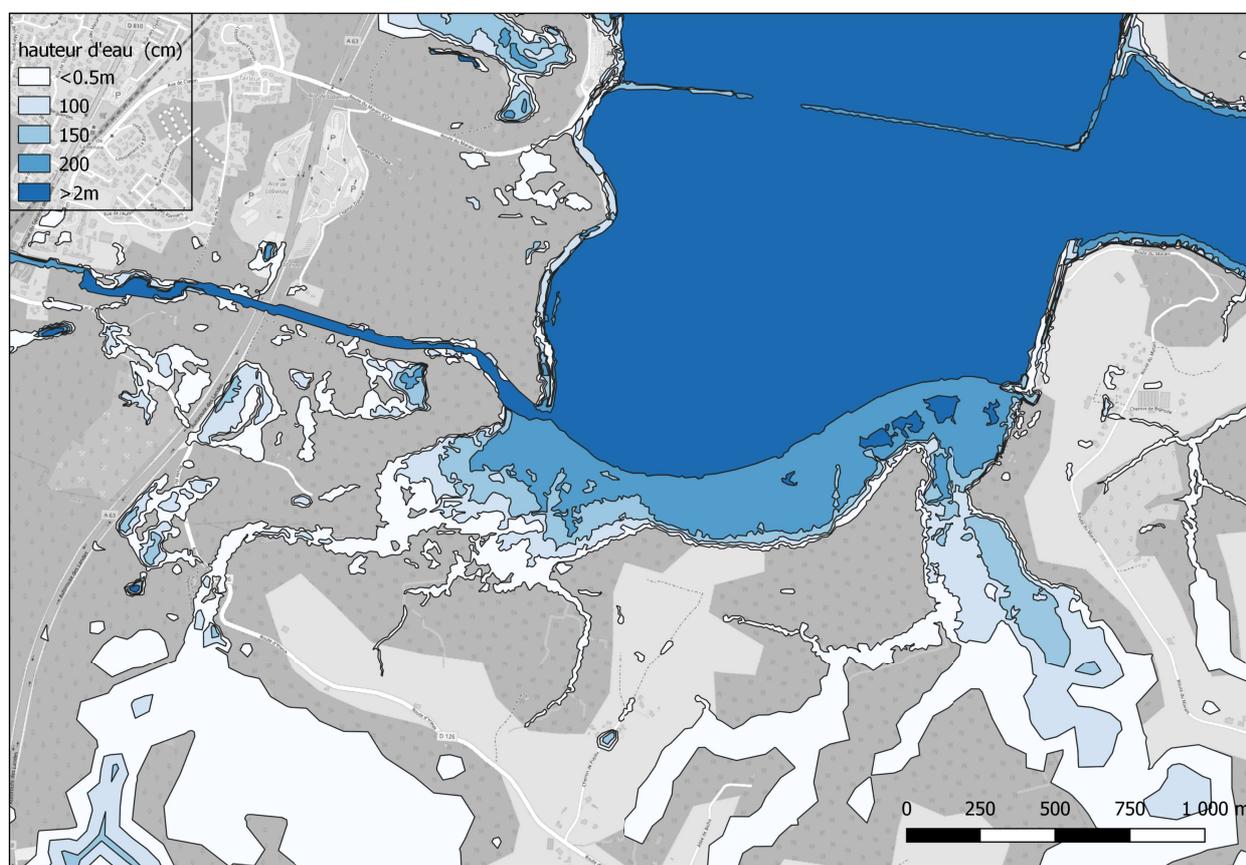


Figure 29: emprise maximale sur le casier barrage et le Boudigau

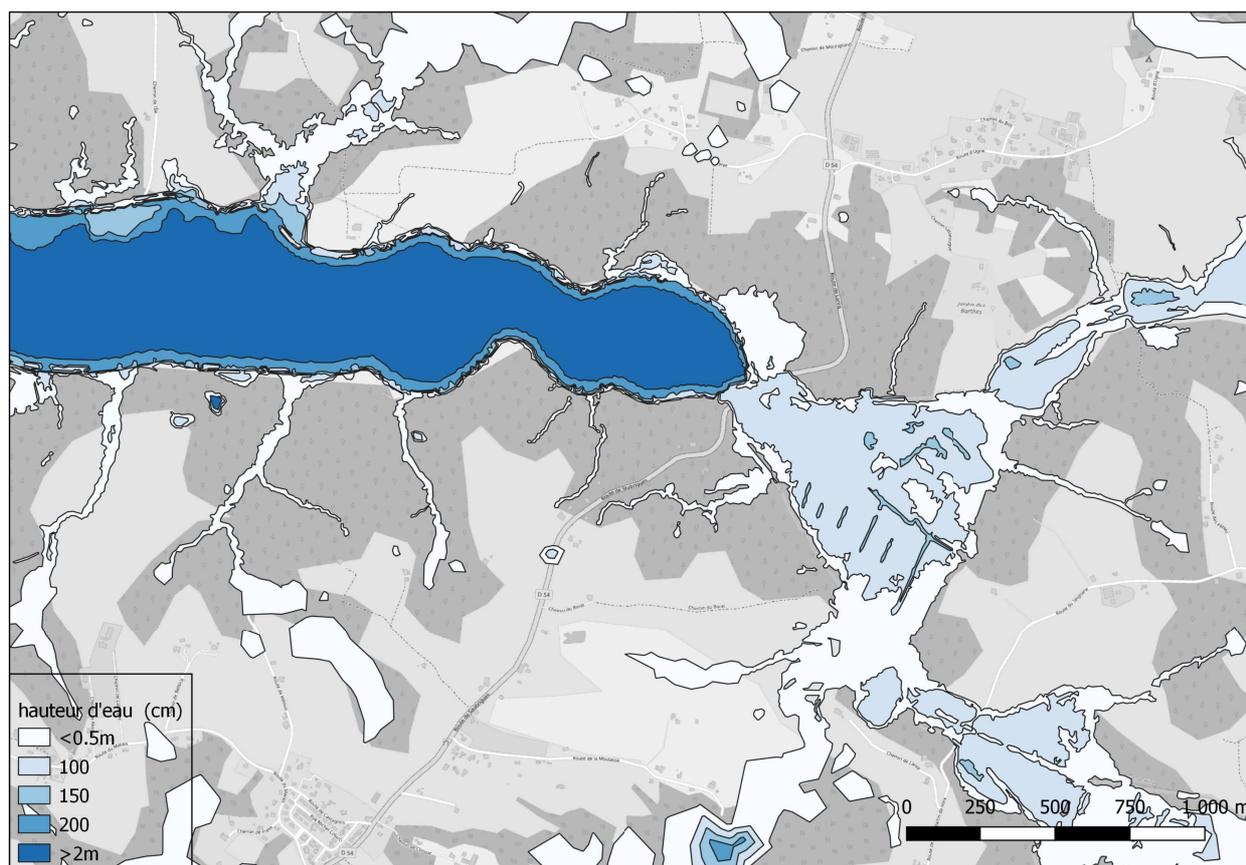


Figure 30: emprise maximale sur le casier Burret

4.7 Conclusion

La modélisation « zéro ouvrage » des crues récentes (2018 et 2021), même si elle ne peut être précisément comparée à la situation réelle par manque de mesures de calage et par différences fondamentales dans la situation de départ, permet de tirer des enseignements qualitatifs :

- en l'absence d'ouvrage, le niveau habituel dans les casiers de la réserve sera nettement plus haut,
- la présence des digues et canaux de ceinture tend à accélérer et à concentrer les crues du Boudigau en le privant d'une part importante de laminage : le débit de pointe du Boudigau est nettement diminué en situation sans ouvrages, mais la durée de la crue nettement augmentée (sans que cela n'ait réellement d'impact, le pompage actuel rallongeant également les crues ou périodes de hautes eaux) ,
- la route traversant le marais est indisponible à la circulation nettement plus longtemps en situation sans ouvrages, les hauteurs de franchissement sont plus fortes (le fonctionnement actuel protège la route),
- Hormis la route départementale, peu d'habitations sont touchés par les extensions d'inondations engendrées par la suppression des ouvrages; Selon les impacts sur le Boudigau, il est même possible que les d'habitations touchées diminuent en nombre et en importance.
- Les résultats présentés ici se focalisent sur les effets et conséquences de la modélisation « zéro ouvrage » sur les infrastructures (bâtiments, SNCF, routes...) sous l'angle purement hydraulique

et topographique. Les répercussions de cette modélisation sur la biodiversité, sur les activités de la Réserve Naturelle Nationale, sur la valeur ajoutée des services écosystémiques au territoire ne sont pas développées dans cette étude. Le plan de gestion de la réserve part du postulat et s'appuie sur le maintien du Polder pour assurer les fonctionnalités écologiques. Le scénario zéro ouvrage serait à l'opposé de ce principe et mettrait sévèrement en danger ces fonctionnalités.

5 Annexes

Correspondances entre code Corinne Land Cover et Strickler affecté

Code CLC "CODE09NIV3" = 111		Strickler 11
Code CLC "CODE09NIV3" = 112		Strickler 14
Code CLC "CODE09NIV3" = 121		Strickler 18
Code CLC "CODE09NIV3" = 122		Strickler 40
Code CLC "CODE09NIV3" = 123		Strickler 18
Code CLC "CODE09NIV3" = 124		Strickler 40
Code CLC "CODE09NIV3" = 131		Strickler 40
Code CLC "CODE09NIV3" = 132		Strickler 40
Code CLC "CODE09NIV3" = 133		Strickler 40
Code CLC "CODE09NIV3" = 141		Strickler 17
Code CLC "CODE09NIV3" = 142		Strickler 14
Code CLC "CODE09NIV3" = 211		Strickler 18
Code CLC "CODE09NIV3" = 212		Strickler 20
Code CLC "CODE09NIV3" = 221		Strickler 17
Code CLC "CODE09NIV3" = 222		Strickler 17
Code CLC "CODE09NIV3" = 231		Strickler 17
Code CLC "CODE09NIV3" = 232		Strickler 17
Code CLC "CODE09NIV3" = 243		Strickler 17
Code CLC "CODE09NIV3" = 311		Strickler 12
Code CLC "CODE09NIV3" = 312		Strickler 12
Code CLC "CODE09NIV3" = 313		Strickler 12
Code CLC "CODE09NIV3" = 322		Strickler 12
Code CLC "CODE09NIV3" = 324		Strickler 12
Code CLC "CODE09NIV3" = 331		Strickler 30
Code CLC "CODE09NIV3" = 411		Strickler 25
Code CLC "CODE09NIV3" = 421		Strickler 25
Code CLC "CODE09NIV3" = 423		Strickler 75
Code CLC "CODE09NIV3" = 511		Strickler 70
Code CLC "CODE09NIV3" = 512		Strickler 40
Code CLC "CODE09NIV3" = 521		Strickler 70
Code CLC "CODE09NIV3" = 522		Strickler 80
Code CLC "CODE09NIV3" = 523		Strickler 50

choix du Curve Number : tables de l'US Department of Agriculture

	Cover description	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.)	Poor condition (grass cover <50%)	68	79	86	89
	Fair condition (grass cover 50 to 75%)	49	69	79	84
	Good condition (grass cover >75%)	39	61	74	80
Impervious areas	Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right of way)	98	98	98	98
	Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)	98	98	98	98
Streets and roads	Paved; open ditches (including right-of-way)	83	89	92	93
	Gravel (including right of way)	76	85	89	91
	Dirt (including right-of-way)	72	82	87	89
Western desert urban areas	Natural desert landscaping (pervious area only)	63	77	85	88
	Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)	96	96	96	96
Urban districts	Commercial and business (85% imp.)	89	92	94	95
	Industrial (72% imp.)	81	88	91	93
	1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)	77	85	90	92
Residential districts by average lot size	1/4 acre (38% imp.)	61	75	83	87
	1/3 acre (30% imp.)	57	72	81	86
	1/2 acre (25% imp.)	54	70	80	85
	1 acre (20% imp.)	51	68	79	84
	2 acres (12% imp.)	46	65	77	82
Developing urban areas					

Cover description	Curve numbers for hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)	77	86	91	94
Cultivated agricultural lands				

Cover type	Cover description	Treatment[A]	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group			
				A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)		Poor	76	85	90	93
Row crops	Straight row (SR)		Good	74	83	88	90
			Poor	72	81	88	91
	SR + CR		Good	67	78	85	89
			Poor	71	80	87	90
	Contoured (C)		Good	64	75	82	85
			Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86	

Small grain	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C&T + R	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C&T + R	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
SR	Poor	66	77	85	89	
	Good	58	72	81	85	
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

A Crop residue cover applies only if residue is on at least 5% of the surface throughout the year.
Other agricultural lands

Cover description	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. <u>A</u>	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. <u>B</u>	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 <u>C</u>	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). <u>D</u>	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. <u>E</u>	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30	55	70	77

Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots. — 59 74 82 86

A Poor: <50% ground cover or heavily grazed with no mulch; Fair: 50-75% ground cover and not heavily grazed; Good: >75% ground cover and light or only occasionally grazed.

B Poor: <50% ground cover; Fair: 50-75% ground cover; Good: >75% ground cover.

C Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computation.

D CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

E Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning; Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil; Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

Arid and semiarid rangelands

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Cover type	Hydrologic condition				
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element	Poor	—	80	87	93
	Fair	—	71	81	89
	Good	—	62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush	Poor	—	66	74	79
	Fair	—	48	57	63
	Good	—	30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory	Poor	—	75	85	89
	Fair	—	58	73	80
	Good	—	41	61	71
Sagebrush with grass understory	Poor	—	67	80	85
	Fair	—	51	63	70
	Good	—	35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbush, geasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

Atlas cartographique des niveaux maximums atteints sur les hivers 2018 et 2021



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN