

ETUDE DU TRITIUM DANS LA LOIRE À SAUMUR

Réunion 4 du comité de suivi - 28/06/2021
Résultats des mesures et Modélisation 1D

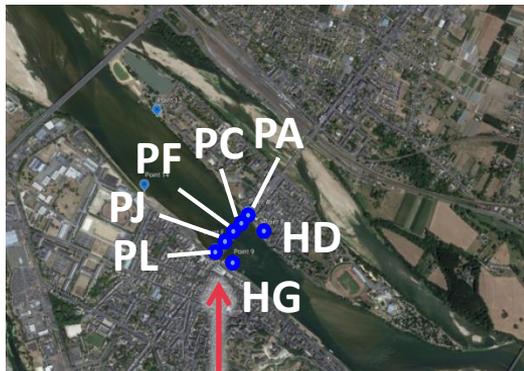
Plan de la présentation

- Résultats des mesures de la campagne au pont Cessart et interprétation
- Description du modèle 1D utilisé
- Résultats de la modélisation 1D et comparaison aux mesures :
 - à Saumur
 - à la SMP aval du CNPE Chinon
- Etude d'une éventuelle stratification thermique à Saumur liée aux rejets du CNPE Chinon
- Résultats de mesures complémentaires au pont Cessart pour étudier la variabilité spatio-temporelle, avec :
 - De faibles intervalles spatiaux - transects en 12 points
 - De faibles intervalles temporels – toutes les 10 minutes

Résultats de mesure et interprétation

Mesures :

- prélèvements de l'étude au niveau du pont Cessart à Saumur (mesures IRSN) : du 9 novembre 2020 au 8 avril 2021
- prélèvements EDF à la SMP aval de Chinon (mesures EDF) : de novembre 2020 à avril 2021



Pont Cessart, Saumur

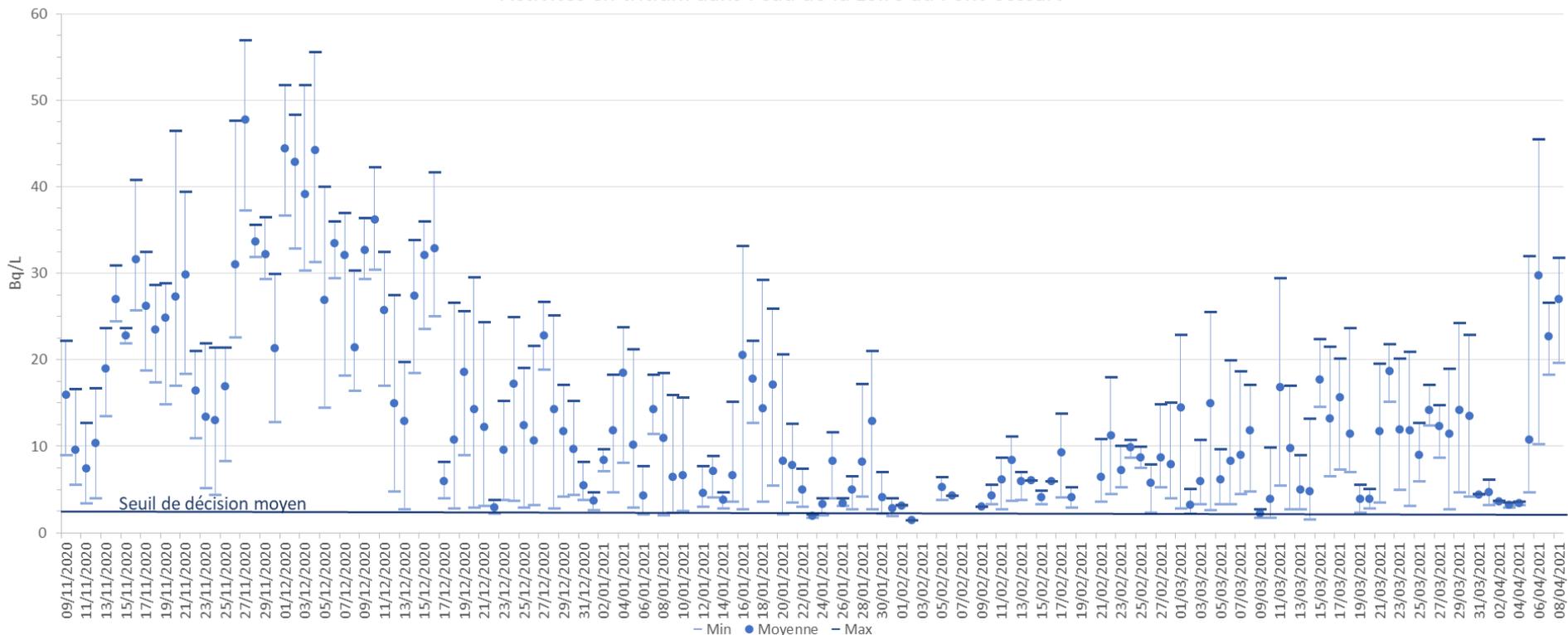


CNPE Chinon

Résultats de la campagne de mesures journalières au pont Cessart : minimum, maximum et moyennes



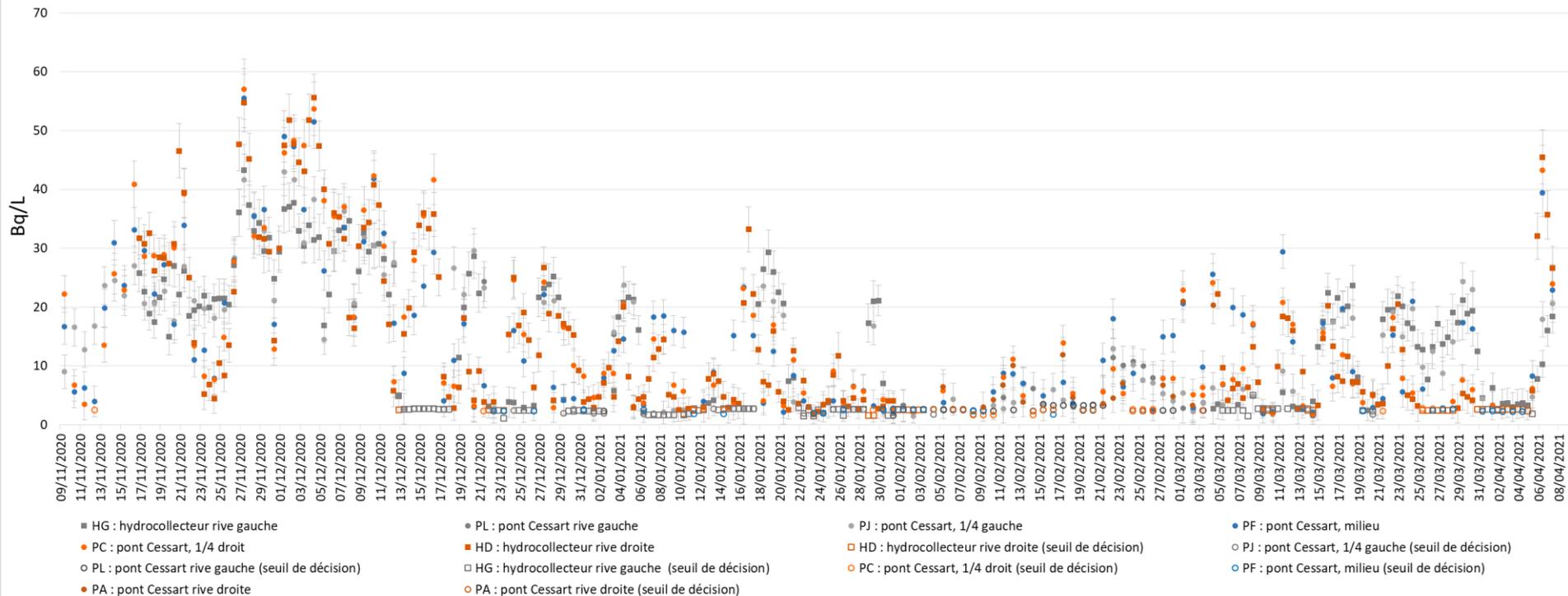
Activités en tritium dans l'eau de la Loire au Pont Cessart



Résultats de la campagne de mesure au pont Cessart



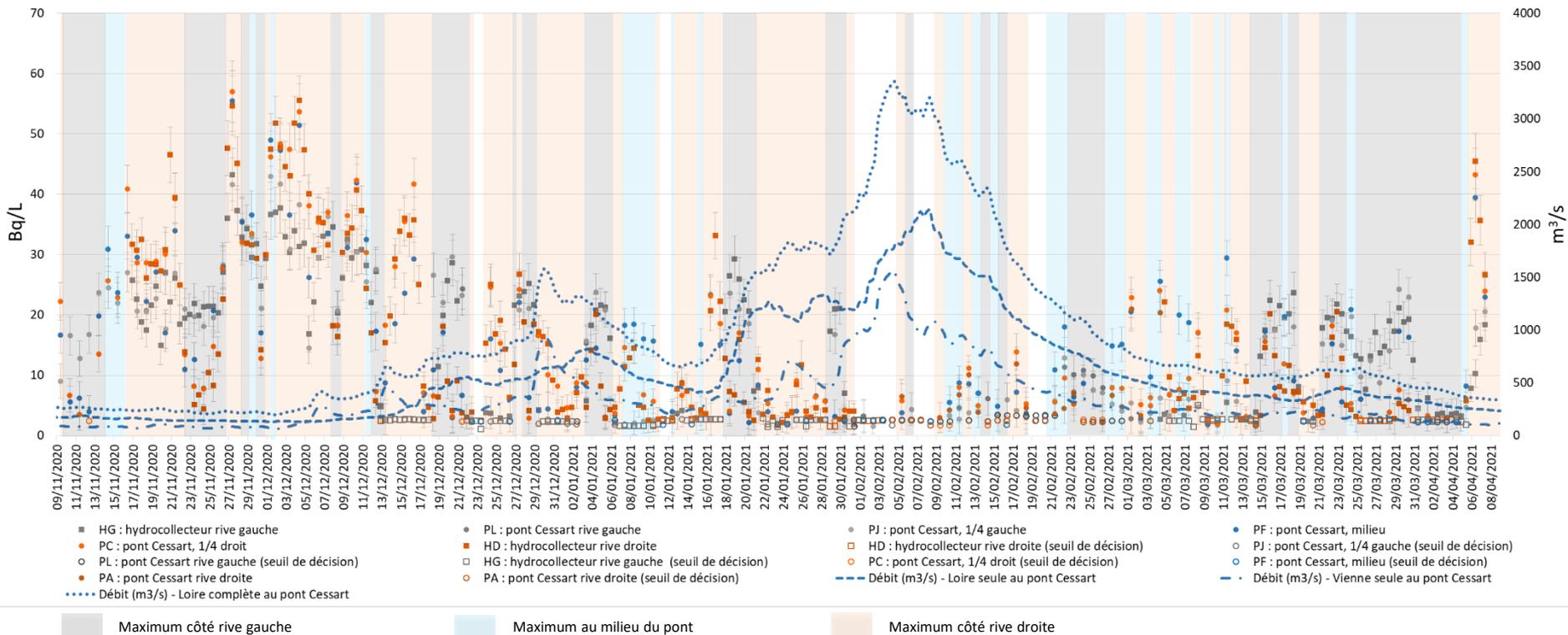
Activité en tritium dans l'eau de la Loire au pont Cessart à Saumur



Résultats de la campagne de mesure au pont Cessart



Activité en tritium dans l'eau de la Loire au pont Cessart à Saumur



Résultats de la campagne de mesure au pont Cessart



- Les mesures varient entre < limite de détection et 60 Bq/L au maximum
- Concernant les valeurs maximales :
 - des périodes où elles sont du côté rive droite de la Loire (bandes oranges)
 - des périodes où elles sont du côté rive gauche (bandes grises)
 - des intervalles courts où elles sont au milieu (bandes bleues)
- Les valeurs les plus élevées (> 40 Bq/L) sont presque toujours observées en rive droite (contribution des CNPE Loire), parfois au milieu du pont et exceptionnellement en rive gauche.
- Concernant la dispersion latérale des mesures :
 - quelques périodes où les mesures sont relativement homogènes sur le transect
 - plus fréquemment **des périodes où la dispersion latérale est marquée** (~facteur 2 entre le côté droit et le côté gauche) **voire très marquée** (eg mi-décembre, avec des mesures inférieures à la limite de détection du côté gauche et d'environ 40 Bq/L du côté droit)
 - les mesures au milieu du pont, quand elles ne sont pas maximales, sont souvent entre les mesures du côté rive gauche et du côté rive droite, de sorte qu'il y a un gradient latéral des activités, ou proches des mesures rive droite

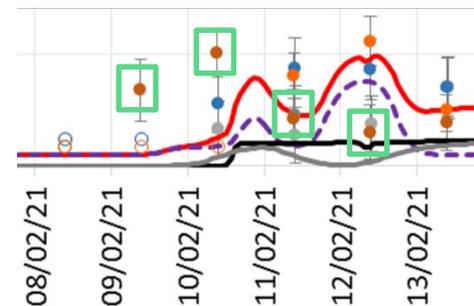


le mélange est imparfait au pont Cessart sur cette période

Résultats de la campagne de mesure au pont Cessart

[ERRATUM DES MESURES POUR LE POINT A (RIVE DROITE) DU 9 AU 12/02/21

- **Les mesures au point A**, présentées lors du comité de suivi n°3, semblaient :
 - **incohérentes avec l'absence du passage de rejets des CNPE sur la période du 9 et 10/02/21**
 - **bien plus faible que celle attendue par la modélisation et mesurée au point C (quart droit du pont Cessart) le 12/02/21**
- **Après vérification, la traçabilité a permis d'identifier une erreur d'étiquetage IRSN** à la préparation des échantillons pour la mesure, qui a mené à une interversion de dates dans la saisie des valeurs :
 - la mesure affectée au 9 est celle du 11/02/21
 - la mesure affectée au 10 est celle du 12/02/21
 - la mesure affectée au 11 est celle du 10/02/21
 - la mesure affectée au 12 est celle du 09/02/21



Correction des erreurs de date pour les prélèvements au point A du 9 au 12/02/21 (intégrée au RNM)

Modélisation 1D et interprétation des mesures

[DONNÉES D'ENTRÉE & MODÈLE UTILISÉS

■ Activités issues des **registres des rejets des 5 CNPE du bassin** versant de la Loire (transmission mensuelle par EDF à l'ASN) **pour les mois de novembre 2020 à avril 2021**

■ Données pour le calcul hydraulique :

- débits aux stations HYDRO de la Vienne et de la Loire
- calage du coefficient de rugosité du fond par les mesures d'activité au pont Cessart et aux SMP amont et aval

■ Utilisation de la plateforme de **modélisation SYMBIOSE**, en posant **l'hypothèse du mélange homogène des rejets de chaque CNPE à l'aval de celui-ci (en particulier Chinon) :**



un calcul en considérant le mélange homogène de la Loire et de la Vienne à Saumur



un calcul en considérant l'absence de mélange de la Loire et de la Vienne à Saumur

Modélisation des transferts en rivière dans SYMBIOSE

- SYMBIOSE exploite le modèle CASTEAUR 1D pour les transferts abiotiques en rivière, dans lequel :
 - **Un cours d'eau est modélisé par une succession de biefs** (ou boîtes), de section trapézoïdale et de caractéristiques homogènes sur leur longueur
 - **Il peut recevoir des apports de polluants radioactifs de plusieurs sources, des apports en eau de multiples affluents**
 - **Chaque bief est divisé en une succession de mailles de calcul** (ou boîte élémentaire), de longueur constante. L'activité volumique calculée dans une maille est homogène dans celle-ci
↪ c'est un **modèle « 1D »**, ou monodimensionnel
 - Au sein d'une maille, l'activité volumique d'un polluant est estimée en résolvant des équations de bilan de masse et de Manning-Strickler

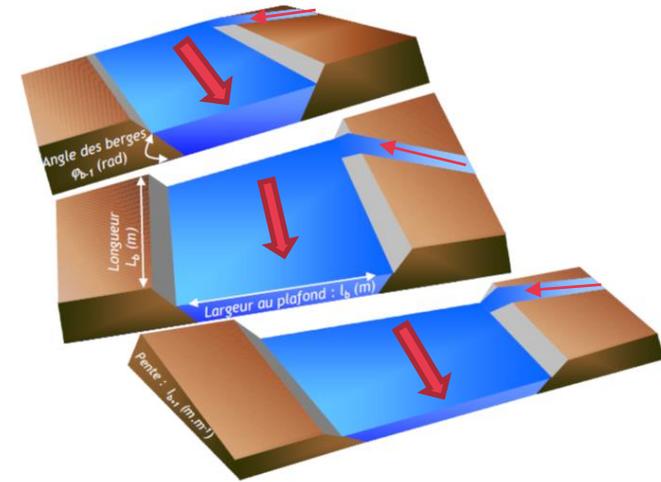
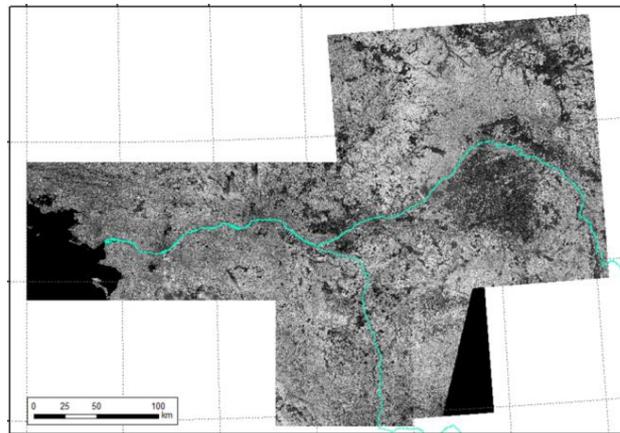


Figure 1 : Réseau hydrographique

Modélisation des transferts en rivière dans SYMBIOSE sur le bassin versant de la Loire

- **SYMBIOSE permet le calcul intégré (simultané) des activités volumiques** du tritium dans l'eau en plusieurs points d'intérêt -eg **au pont Cessart à Saumur et au niveau de la SMP en aval de Chinon-** en **tenant compte des rejets des 4 CNPE de la Loire et du CNPE de la Vienne**
- **Le réseau hydrographique est constitué d'une modélisation de la Loire et de la Vienne depuis l'amont de Belleville et de Civaux jusqu'en aval de Saumur** (par une trentaine de biefs pour chaque cours d'eau)
 - Les caractéristiques géométriques de la Loire ont été adaptées par l'exploitation d'images satellitaires en période de faible débit
- **Les apports des affluents sont pris en compte** par ajustement (calage) des débits, en 6 points sur la Loire et 4 points sur la Vienne, en exploitant les **débits quotidiens disponibles** sur la banque HYDRO
(<http://www.hydro.eaufrance.fr/>)
- **Les calculs sont ainsi effectués sur plus de 300 km de Loire et plus de 100 km de Vienne avec un pas d'espace de 250 m** (longueur d'une maille de calcul) et **un pas de temps de 15 minutes**
- **Les rejets de chaque CNPE sont supposés bien mélangés sur la hauteur et la largeur du cours d'eau récepteur à l'aval immédiat du CNPE**



Modélisation des transferts en rivière dans SYMBIOSE sur le bassin versant de la Loire - adaptation locale à Saumur

L'analyse des photos aériennes & images satellitaires, ainsi que les confrontations modèle mesure, suggèrent que la Vienne et la Loire ne sont pas toujours mélangées à Saumur

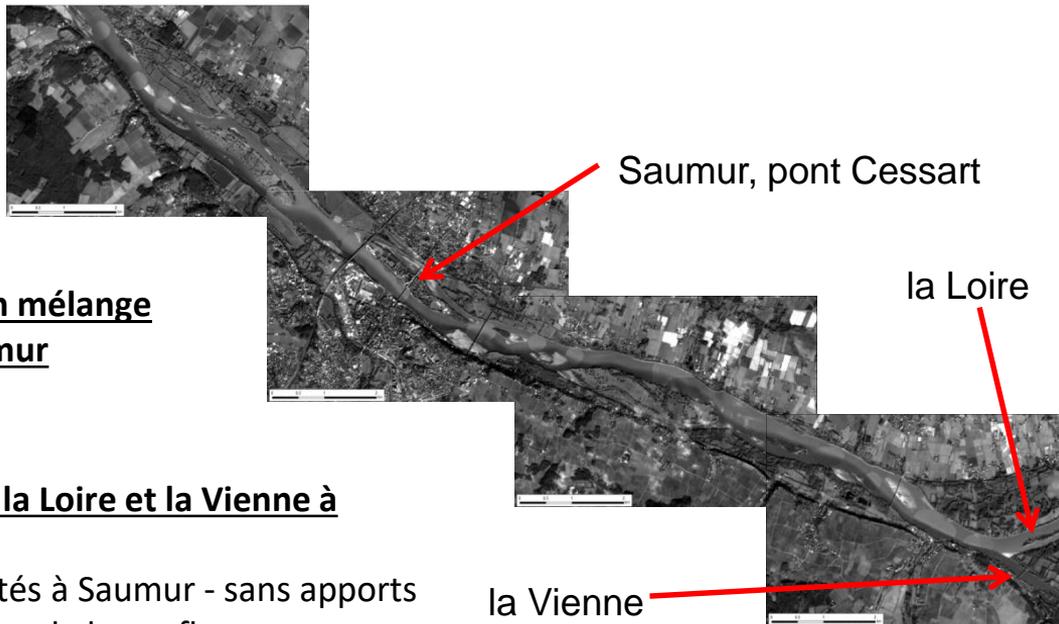


Un premier calcul est mené en supposant un mélange homogène de la Loire et de la Vienne à Saumur



Un second calcul est mené sans mélange de la Loire et la Vienne à Saumur, en combinant :

- Des estimations « Loire seule » des activités à Saumur - sans apports en eau et en tritium de la Vienne au niveau de la confluence Vienne/Loire
- Des estimations « Vienne seule » des activités à Saumur - sans apports (en eau et en tritium) de la Loire au niveau de la confluence

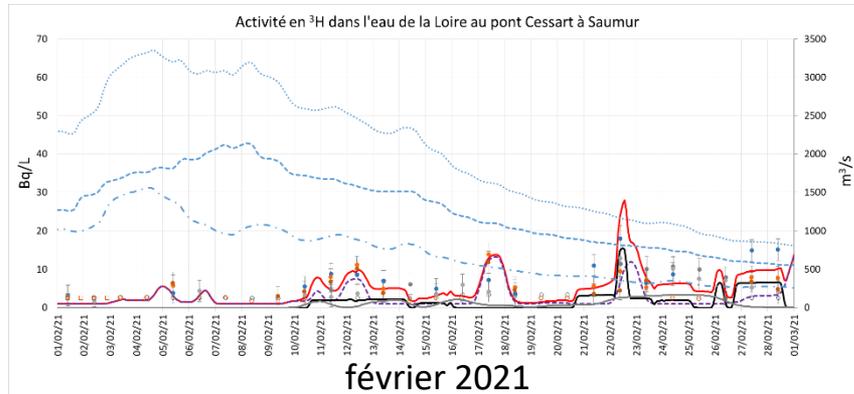
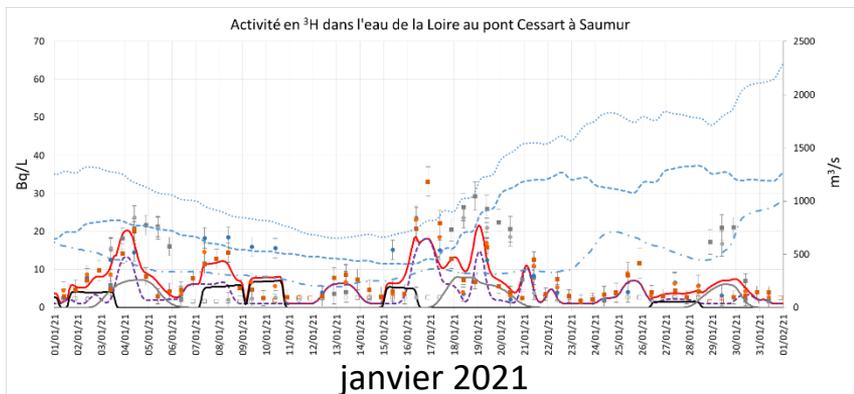
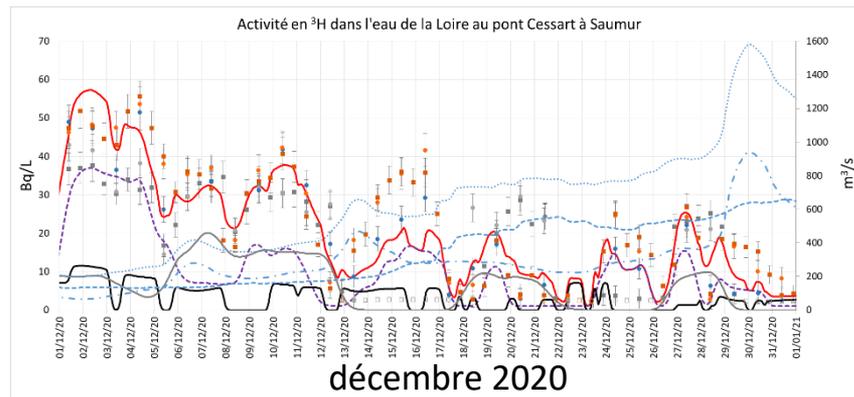
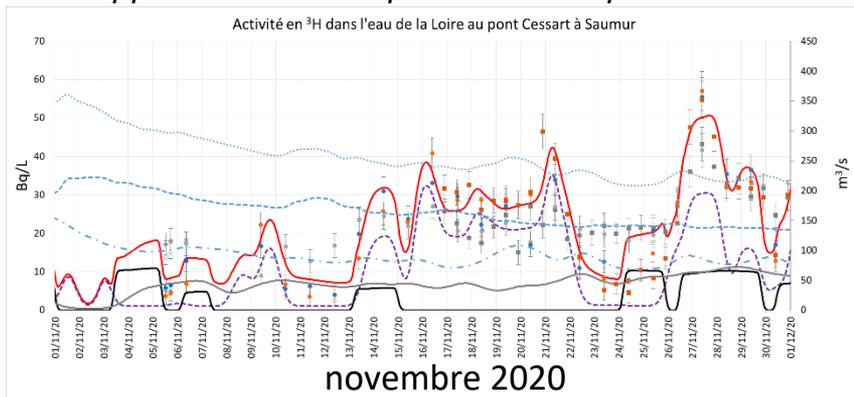


Source : image Sentinel 2X du 15/01/19

Modélisation et mesures au pont Cessart de novembre 2020 à février 2021

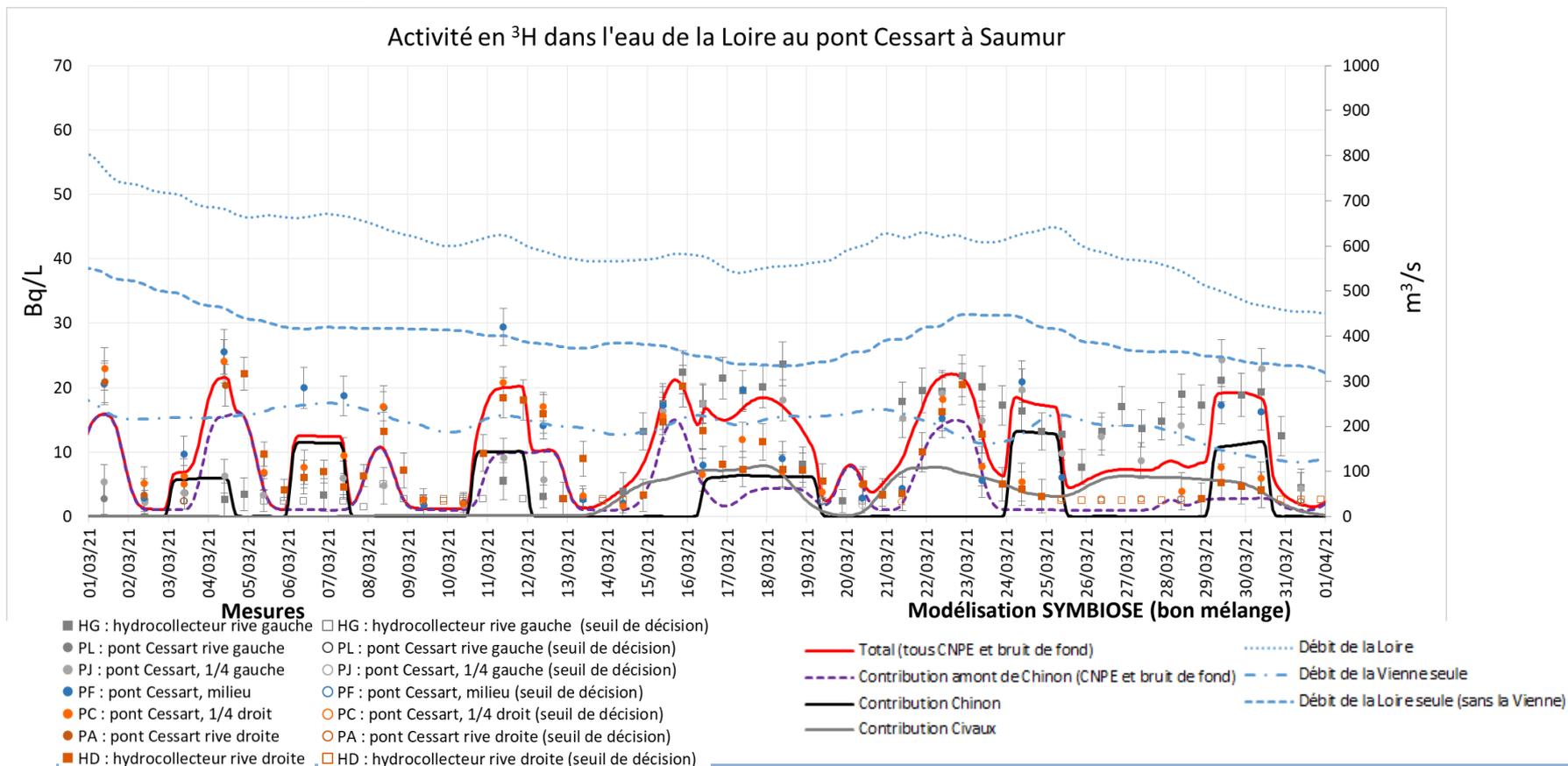
[CALCUL AVEC MÉLANGE DE LA LOIRE ET DE LA VIENNE AU NIVEAU DE SAUMUR

Rappel des résultats présentés aux précédents comités de suivi



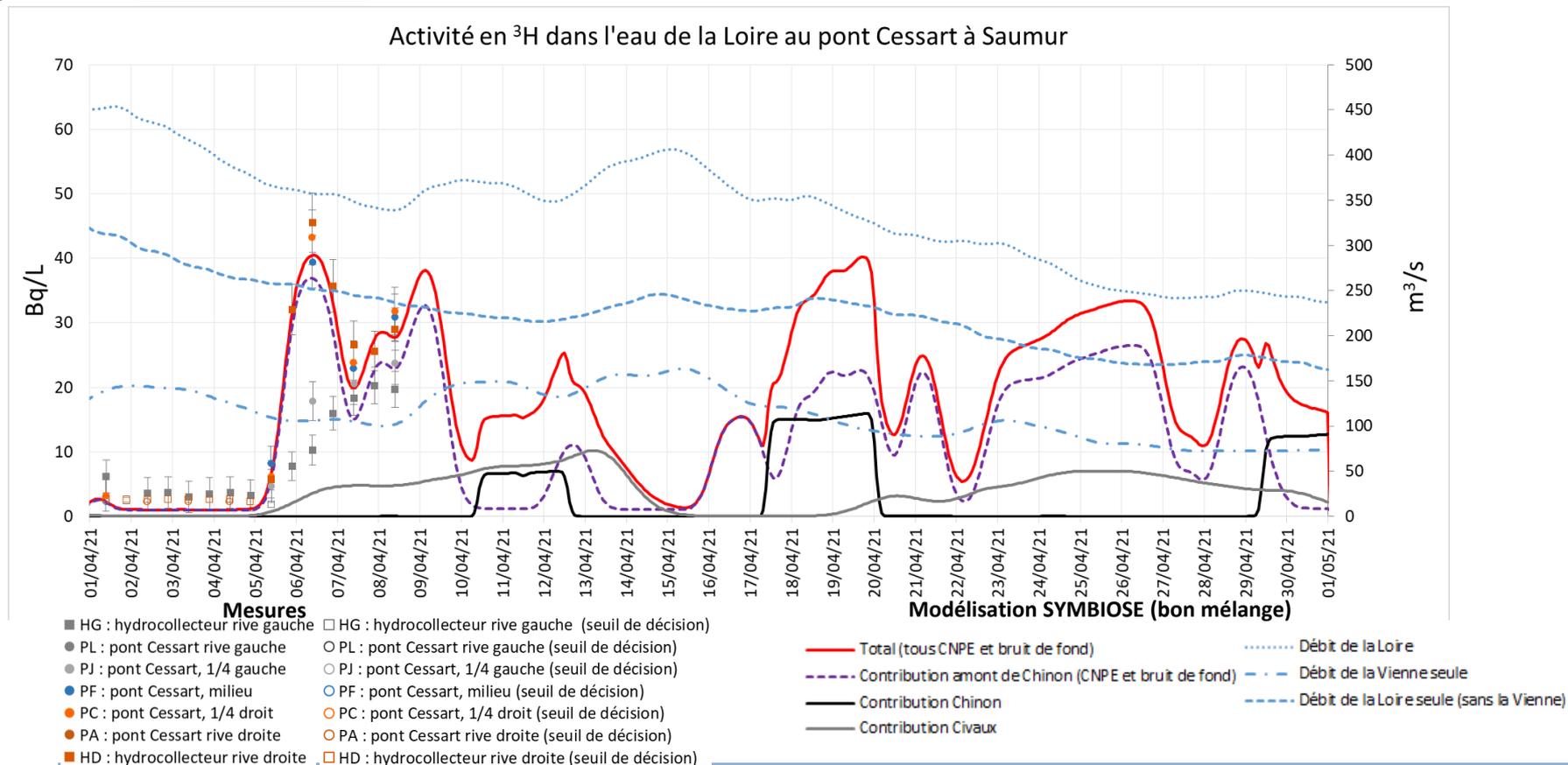
Modélisation et mesures au pont Cessart en mars 2021

[CALCUL AVEC MÉLANGE DE LA LOIRE ET DE LA VIENNE AU NIVEAU DE SAUMUR



Modélisation et mesures au pont Cessart en avril 2021

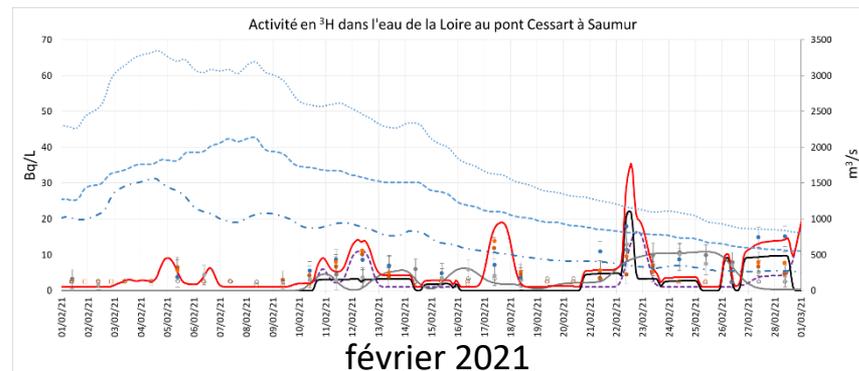
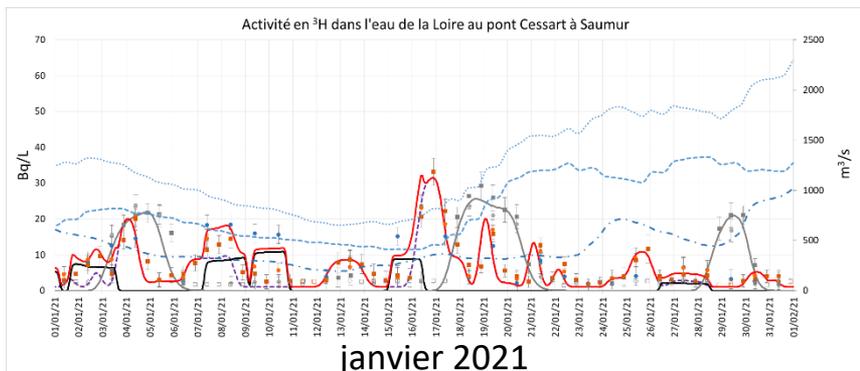
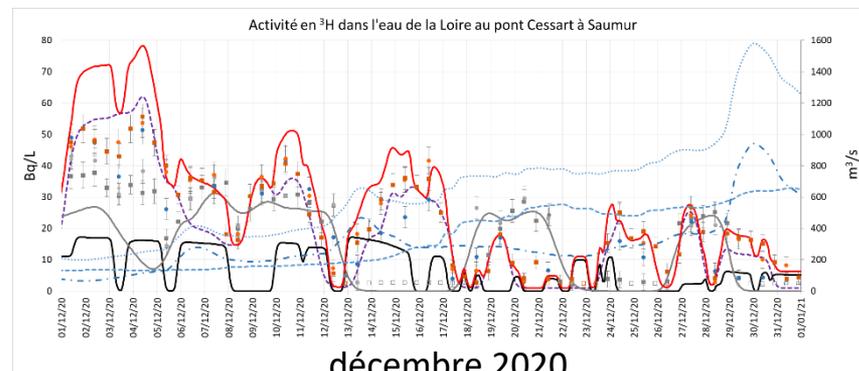
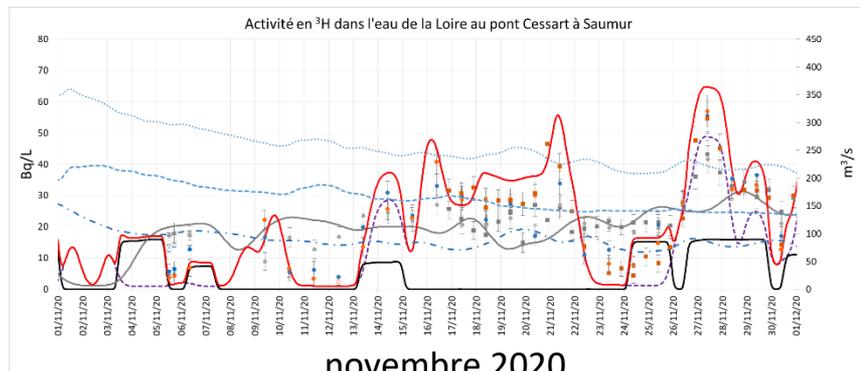
[CALCUL AVEC MÉLANGE DE LA LOIRE ET DE LA VIENNE AU NIVEAU DE SAUMUR



Modélisation et mesures au pont Cessart de novembre 2020 à février 2021

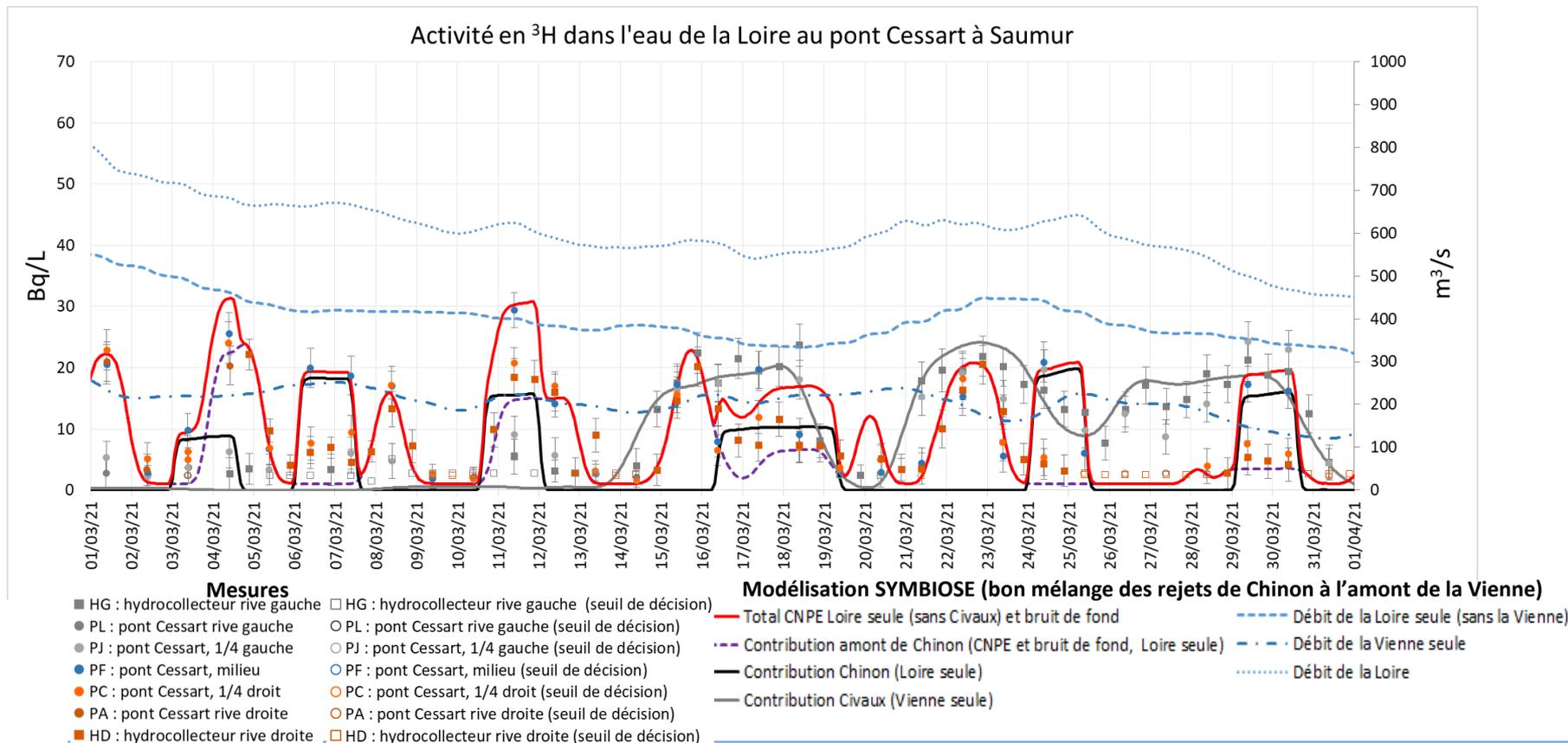
[CALCUL SANS MÉLANGE DE LA LOIRE ET DE LA VIENNE AU NIVEAU DE SAUMUR

Rappel des résultats présentés aux précédents comité de suivi



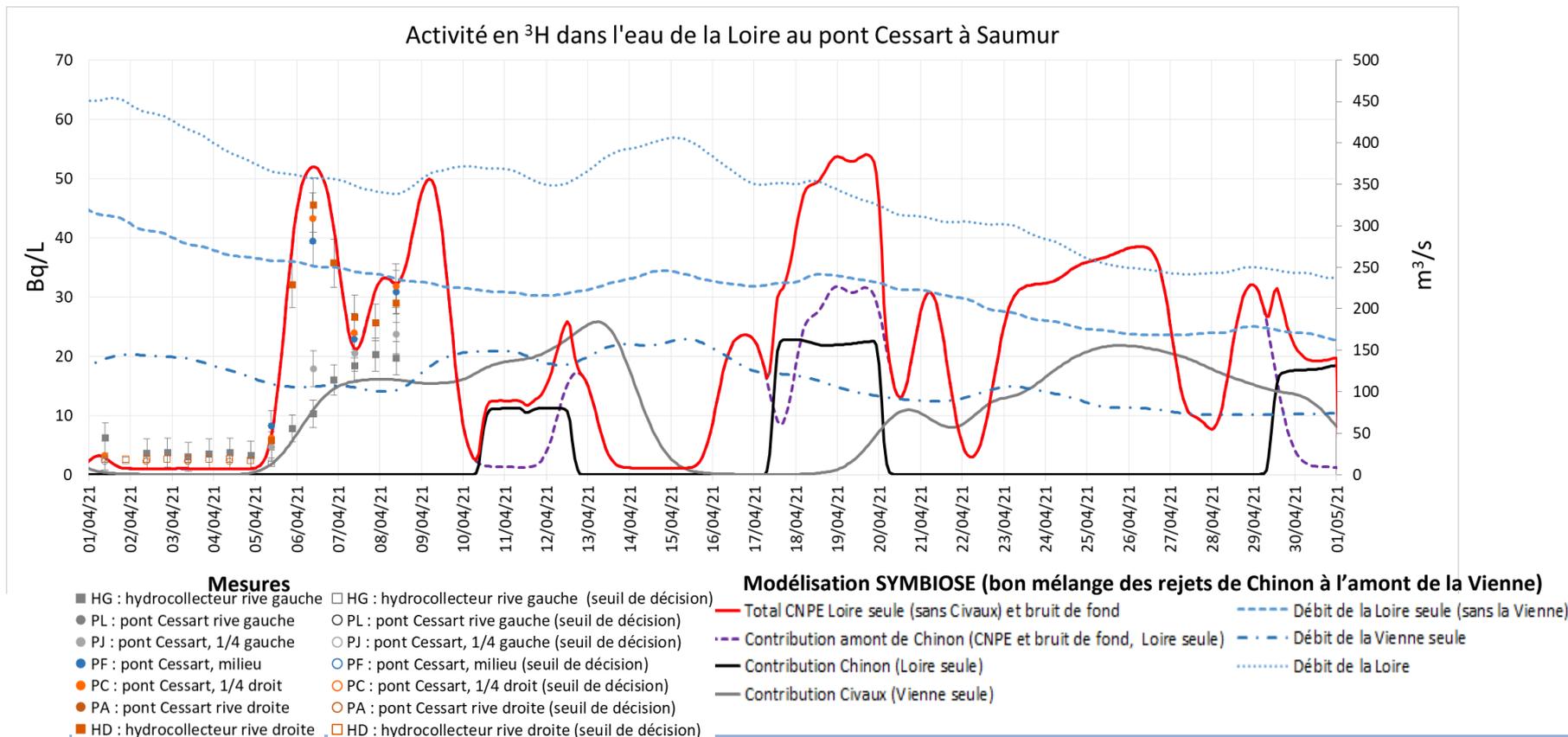
Modélisation et mesures au pont Cessart en mars 2021

[CALCUL SANS MÉLANGE DE LA LOIRE ET DE LA VIENNE AU NIVEAU DE SAUMUR



Modélisation et mesures au pont Cessart en avril 2021

[CALCUL SANS MÉLANGE DE LA LOIRE ET DE LA VIENNE AU NIVEAU DE SAUMUR



- **La modélisation rend bien compte de l'évolution de l'activité volumique¹ en 3H au pont Cessart en supposant ou non que le mélange de la Loire et de la Vienne se fait, selon les conditions hydrauliques**
- **Du côté rive gauche, la masse d'eau est très majoritairement issue de la Vienne** car les mesures :
 - sont inférieures à, ou proches de, la limite de détection en l'absence de rejets de Civaux
 - sont proches des concentrations attendues des rejets de Civaux prédits par la modélisation sans mélange de la Loire et de la Vienne, et ce quels que soient les rejets des autres CNPE (de la Loire)
- **Le côté rive droite est sous l'influence des CNPE amont de la Loire et partiellement sous influence du CNPE Chinon (et peu influencé par la Vienne)** : les mesures du côté rive droite sont en général entre la contribution des CNPE amont de Chinon et la contribution des CNPE de la Loire prédites par la modélisation sans mélange de la Loire et de la Vienne

¹ activité volumique : aussi dénommée « concentration » par la suite

Modélisation et mesures au pont Cessart de novembre 2020 à avril 2021 (2/3)

■ **Le milieu du pont est influencé par les rejets de tous les CNPE :**

- En l'absence de rejets de Chinon, les mesures au milieu du pont sont le plus souvent proches de celles du côté rive droite (donc sous influence des rejets des CNPE de la Loire à l'amont de Chinon) et parfois entre celles du côté rive droite et rive gauche (donc sous influence des rejets de CNPE amont de la Loire et de Civaux)
- Pendant les rejets de Chinon, les mesures au milieu sont le plus souvent proches de ou supérieures à la contribution attendue de tous les CNPE de la Loire (Chinon + les CNPE amont) avec le modèle sans mélange de la Loire et de la Vienne, marquant l'influence de tous les CNPE de la Loire au milieu du pont

■ **Les faibles débits semblent améliorer le mélange de la Loire et de la Vienne.** Entre fin novembre et début décembre quand les débits sont les plus faibles (de l'ordre de 200 m³/s) :

- Les mesures coté rive gauche, au milieu et côté rive droite se rapprochent, malgré des contributions attendues (de Civaux d'une part et des CNPE Loire d'autre part) parfois très différentes
- La modélisation supposant que la Loire et la Vienne se mélangent est la plus adaptée, avec une concentration totale prédite qui s'approche du niveau des mesures
- Le mécanisme sous jacent pourrait être des rétrécissements localisés du lit, qui favoriseraient ce mélange

Modélisation et mesures au pont Cessart de novembre 2020 à avril 2021 (3/3)

- **Quand la Vienne est le principal contributeur au débit de la Loire au niveau du pont Cessart, elle s'étale vers le milieu du pont** (eg en décembre 2020)

Les mesures au milieu du pont sont « tirées » vers les mesures de la rive gauche car l'influence des rejets de Civaux est alors plus forte au milieu du pont

- **Les rejets de Chinon ne sont pas toujours complètement mélangés au niveau de Saumur.** A certaines dates où seuls les rejets de Chinon sont attendus à Saumur, les mesures au milieu du pont sont supérieures à la concentration attendue par les modélisations 1D, qui supposent le mélange homogène des rejets des CNPE au Pont Cessart à Saumur



En conclusion : la modélisation 1D rend bien compte de l'évolution de la concentration en 3H au pont Cessart :

- **En supposant que la Loire et la Vienne ne se mélangent pas pour la plupart des régimes hydrauliques,**
- **En supposant que la Loire et la Vienne se mélangent quand les débits sont faibles (en raison du rétrécissement du lit de la Loire)**

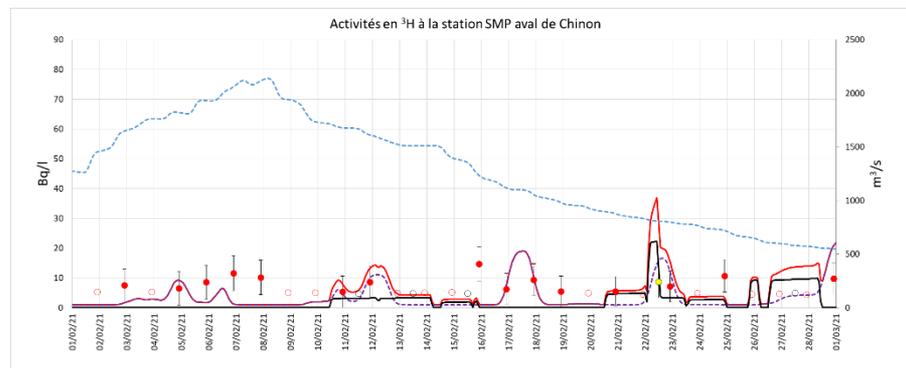
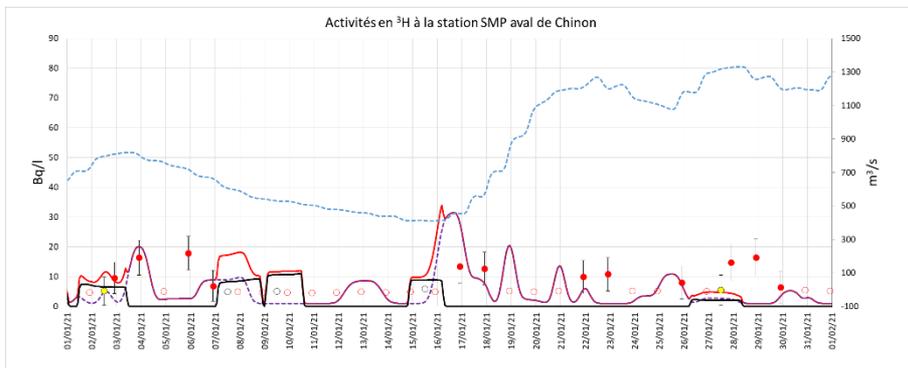
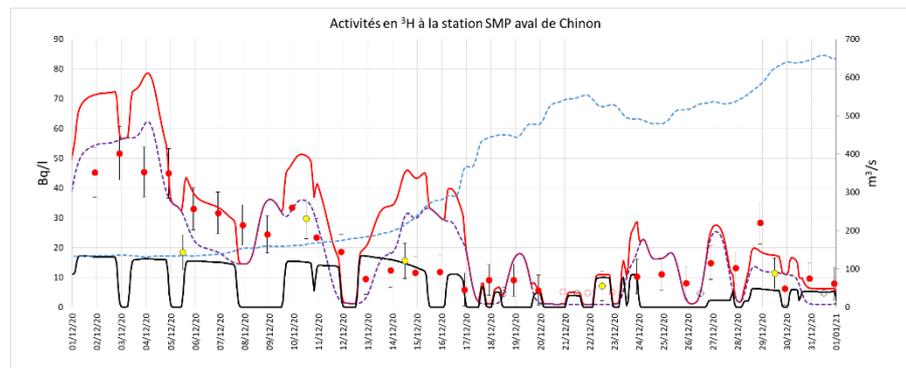
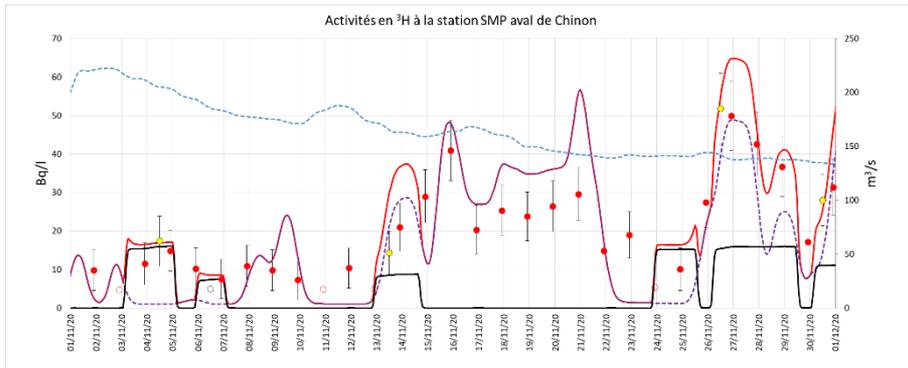
Mesures à la SMP aval de Chinon



- Utilisation des prélèvements et mesures EDF, remontées sur le Réseau National des Mesures de la radioactivité dans l'environnement (RNM)
- Deux types de mesures :
 - **Échantillon aliquote moyen journalier** d'un jour J : échantillon constitué de 24 prélèvements horaires de 10h le jour J à 10h le jour J+1
 - ↪ sa mesure est renseignée dans le RNM en indiquant une date de début de prélèvement le jour J+1 : dans les graphes suivants, la mesure est reportée à 22h le jour J
 - **Prélèvement à mi-rejet** : effectué à l'instant où la moitié du volume des effluents rejetés considérés a atteint la station multi-paramètres aval
 - ↪ sa mesure est renseignée dans le RNM en indiquant une date de début de prélèvement le jour J : dans les graphes suivants, la mesure est reportée à 12h le jour J

Modélisation et mesures à la SMP aval de Chinon : novembre 2020 à février 2021

Rappel des résultats présentés aux précédents comité de suivi



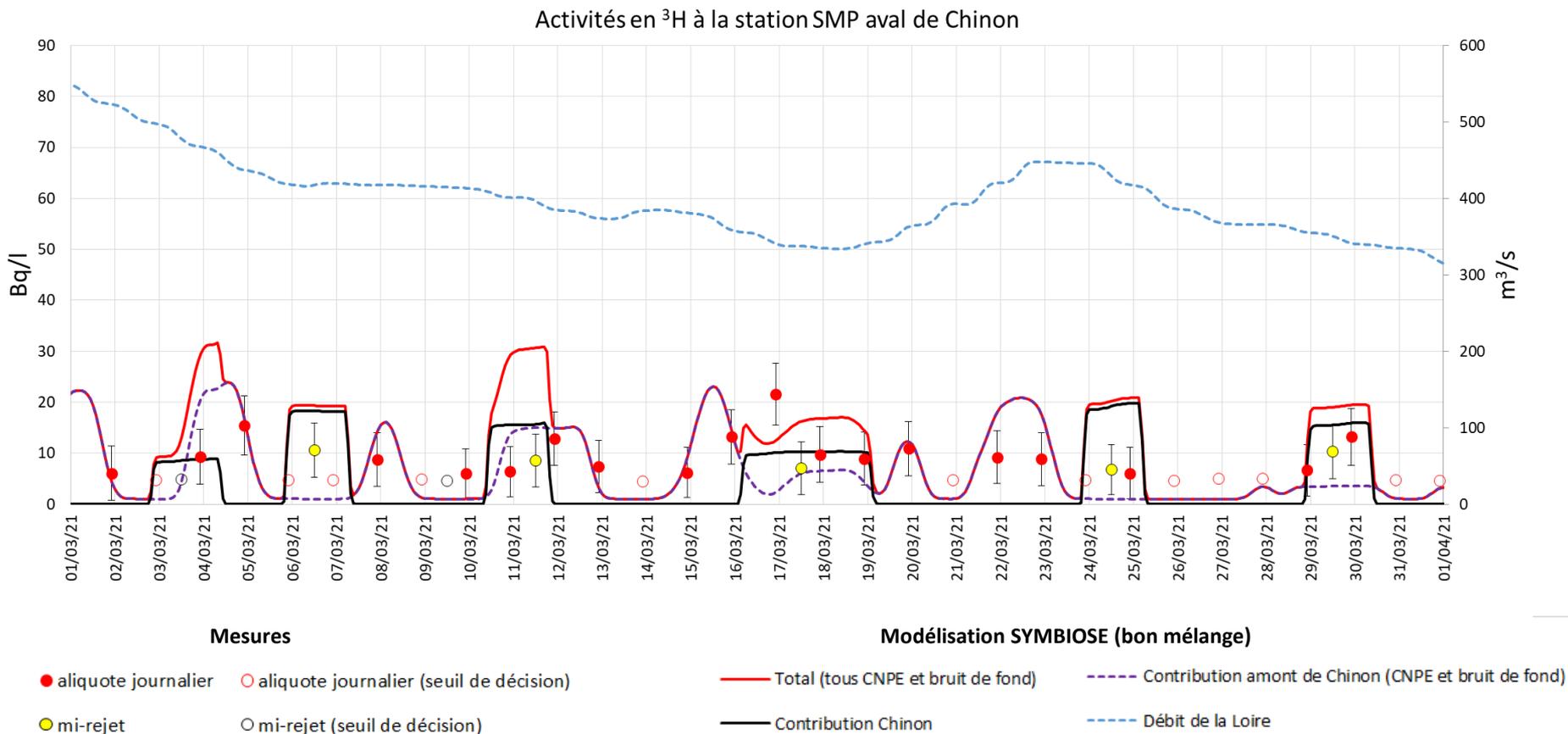
Mesures

Modélisation SYMBIOSE (bon mélange)

- aliquote journalier
- aliquote journalier (seuil de décision)
- mi-rejet
- mi-rejet (seuil de décision)

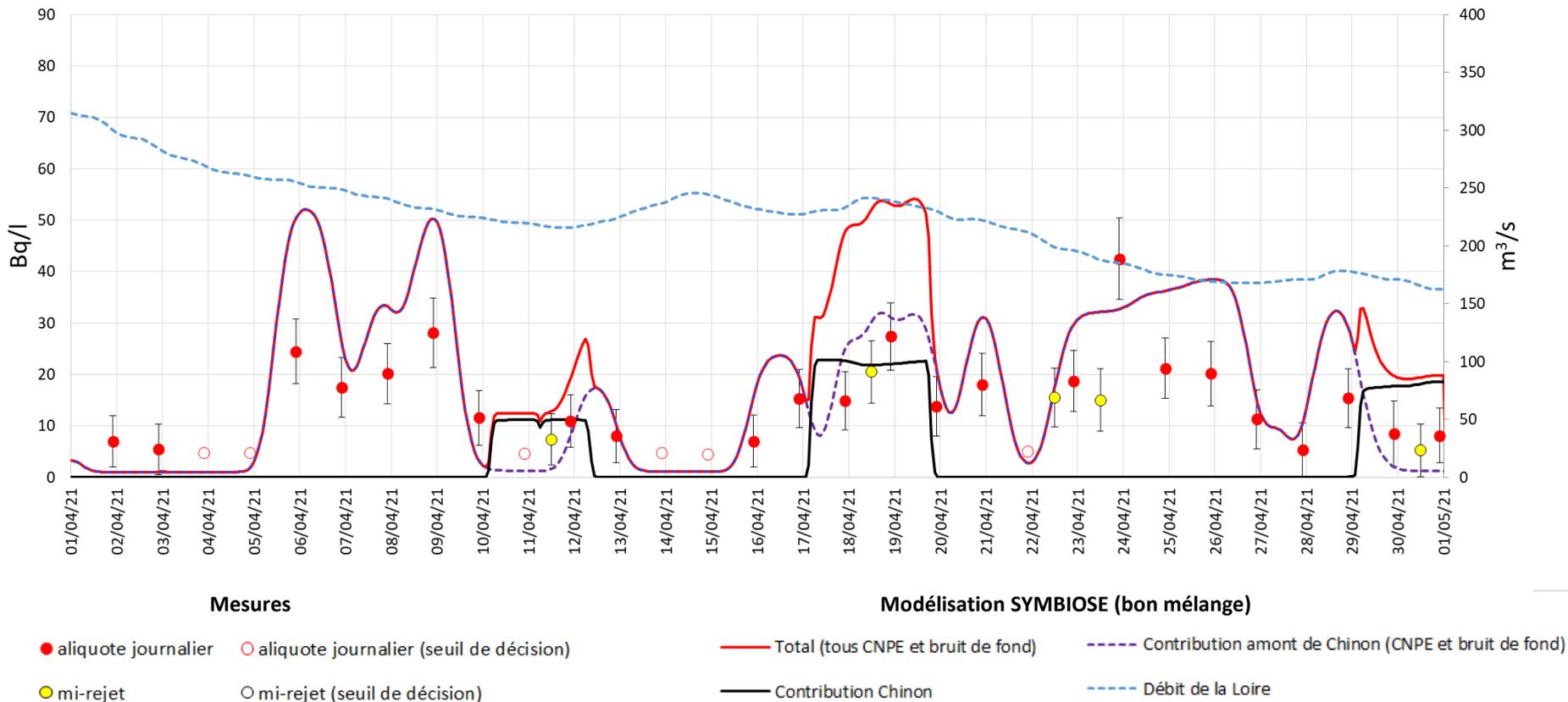
- Total (tous CNPE et bruit de fond)
- Contribution Chinon
- - - Contribution amont de Chinon (CNPE et bruit de fond)
- - - Débit de la Loire

Modélisation et mesures à la SMP aval de Chinon : mars 2021



Modélisation et mesures à la SMP aval de Chinon : avril 2021

Activités en ^3H à la station SMP aval de Chinon



Modélisation et mesures à la SMP aval de Chinon de novembre 2020 à avril 2021

■ Le mélange des rejets de Chinon n'est pas complet au niveau de la SMP aval

- Lors du passage des rejets de Chinon, les mesures peuvent être proches, inférieures ou supérieures à la prévision de la modélisation supposant leur mélange homogène

■ Les mesures à la SMP aval ne permettent pas toujours de détecter les rejets de Chinon

- Lors du passage des rejets de Chinon, les mesures peuvent être bien inférieures aux prévisions de la modélisation (supposant leur mélange complet), proches de la contribution des seuls rejets des CNPE amont



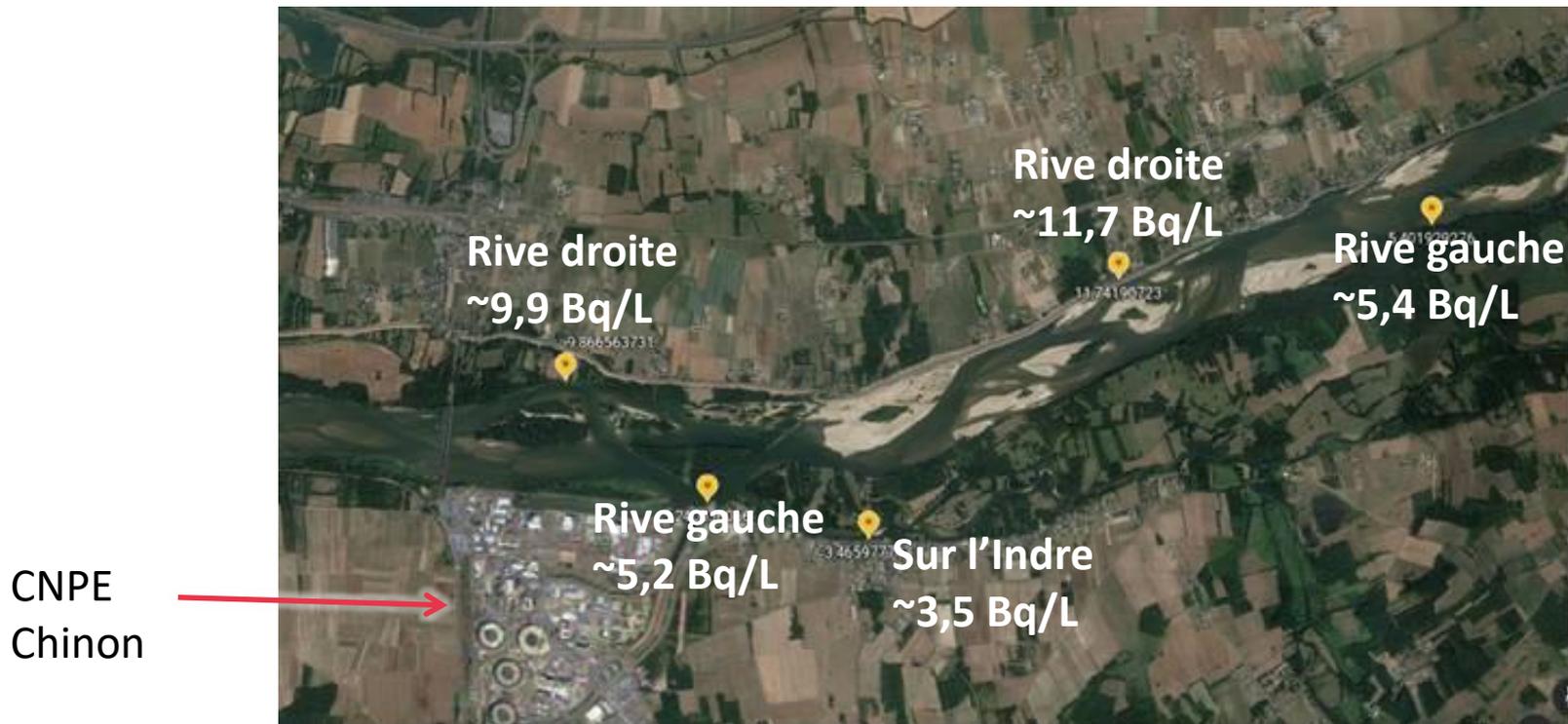
Une **modélisation 2D** est nécessaire pour appréhender le profil de concentration latéral au niveau de la SMP aval et ses capacités à rendre compte des rejets du CNPE Chinon (cf. présentation dédiée)

■ Les mesures à la SMP aval sont parfois inférieures à la contribution attendue des CNPE de l'amont de Chinon

- Les rejets des CNPE pourraient n'être pas complètement mélangés au niveau de la SMP ou, plus vraisemblablement, les prélèvements de la SMP aval pourraient se faire dans une veine sous influence de l'Indre et du Cher, affluents de la rive gauche de la Loire (à ~6 et 30 km à l'amont) qui ne seraient pas complètement mélangés à la Loire
- Hypothèse confortée par les mesures sur des prélèvements effectués à l'amont du CNPE (cf. ci-après)

Mesures ponctuelles à l'amont du CNPE Chinon le 13/01/21

■ Mesures sur des prélèvements complémentaires effectués le 13/01/21



CNPE
Chinon

Mesures ponctuelles à l'amont du CNPE Chinon le 13/01/21

- Mesure sur l'Indre faible (3,5 Bq/L) mais supérieure à la limite de détection en raison :
 - de l'apport de tritium par les CNPE amont de la Loire (pour le régime hydraulique du 13/01/21)
 - de la dilution des apports des CNPE amont par les masses d'eaux venant de l'Indre

CNPE
Chinon



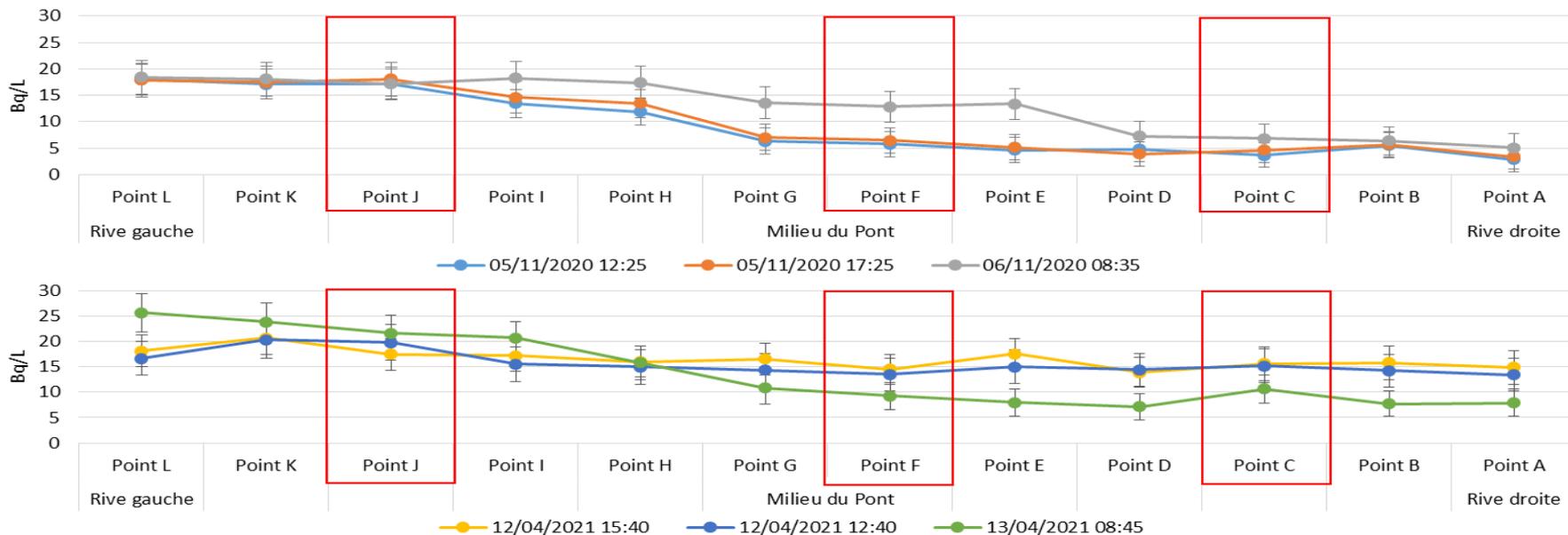
■ **A cette date, la concentration est inhomogène à l'amont de Chinon** (niveau en rive droite supérieur d'un facteur 2 à celui en rive gauche)

- Mauvais mélange des rejets des CNPE amont ?
- Plus vraisemblablement des prélèvements en **rive gauche de la Loire** dans des veines **sous influence du Cher** (a priori au bruit de fond en 3H), qui afflue en rive gauche ~25 km à l'amont, et **qui ne serait pas complètement mélangé à la Loire** au niveau du CNPE (même phénomène que la Loire et la Vienne à Saumur)



Evaluation de la variabilité temporelle et spatiale des mesures en tritium au pont Cessart

[RÉALISATION DE TROIS SESSIONS DE 12 PRÉLÈVEMENTS PAR L'IRSN EN DÉBUT ET FIN D'ÉTUDE

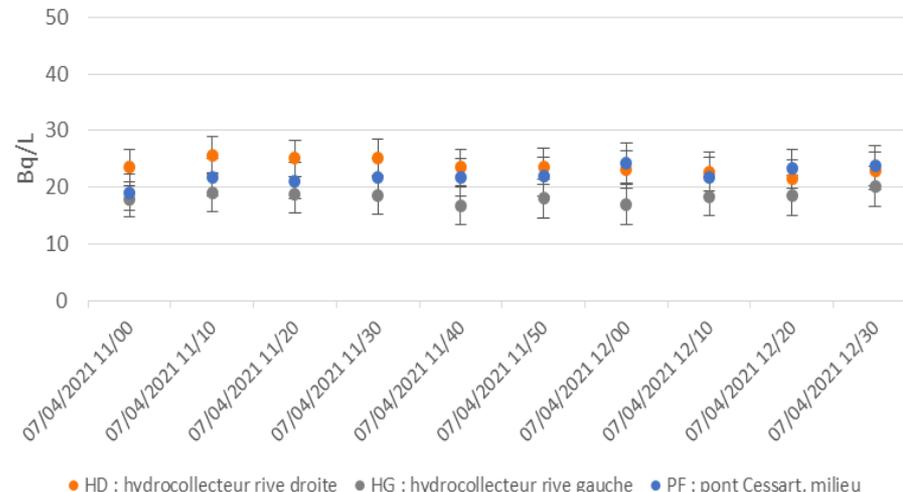
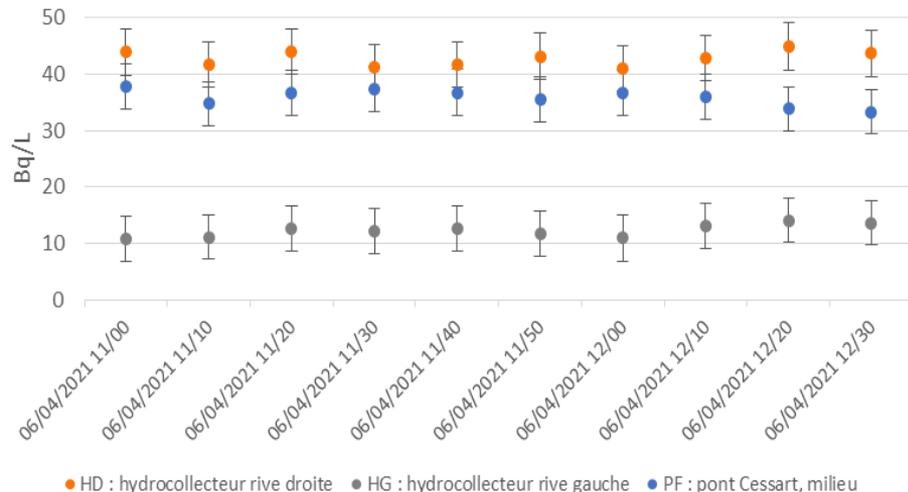


Les analyses réalisées en fin d'étude sont cohérentes avec les observations faites 5 mois plus tôt :

- peu de variation temporelle et spatiale pendant ces mesures
- choix pertinent des points J, F, C pour suivre la variabilité spatiale suivant le transect

Evaluation de la variabilité temporelle des mesures en tritium au pont Cessart

[RÉALISATION DE DEUX SESSIONS DE PRÉLÈVEMENTS, TOUTES LES 10 MINUTES, SUR UNE DURÉE DE 90 MINUTES EN TROIS POINTS : F, HD HYDRO RIVE DROITE ET HG HYDRO RIVE GAUCHE



Pour un point du Pont Cessart et sur cette période (90 min), on observe une variation maximale des concentration en tritium d'environ 5 Bq/L en cohérence avec les modélisations

Investigation sur une éventuelle stratification thermique de la Loire

[L'HYPOTHÈSE D'UNE STRATIFICATION THERMIQUE DE LA LOIRE AFFECTANT LE MÉLANGE DES REJETS

- Dans sa note d'information du 19/07/19, l'IRSN suggérait que la zone de mélange des rejets pouvait être déplacée vers l'aval du fleuve du fait d'un phénomène de stratification thermique : au mois de janvier 2019, la température du fleuve est de 5-6°C, quand les rejets d'effluents ont une température de l'ordre de 20°C

[INVESTIGATION DE CETTE HYPOTHÈSE



Exploitation des mesures disponibles pour étudier l'hypothèse d'une éventuelle stratification thermique au niveau du pont Cessart

Investigation sur une éventuelle stratification thermique de la Loire

[MESURES DE TEMPÉRATURE DE LA LOIRE À SAUMUR

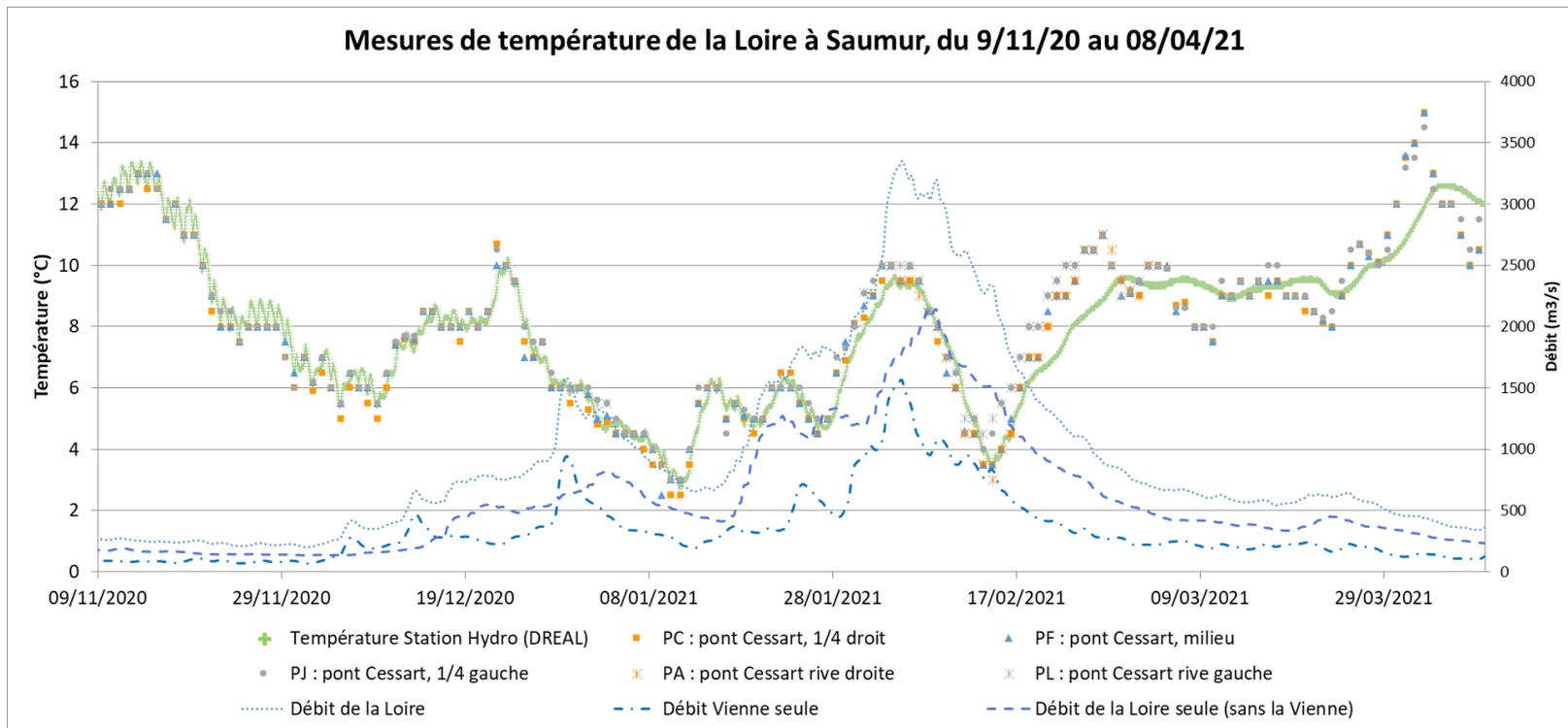
- Pendant la campagne de mesures, l'eau de la Loire est prélevée au seau tous les matins vers 9h30, dans les 30 premiers cm de la Loire en 3 points du pont (5 pendant l'interruption de prélèvement par les hydrocollecteurs). Chaque prélèvement fait l'objet d'une mesure de la température de l'eau (restitution à 0,5°C en général)
- La DREAL Pays de la Loire effectue depuis 2016 des mesures en continu (toutes les 10 minutes) de la température de la Loire à Saumur au niveau du pont Cessart, au moyen d'une sonde fixe, au fond, en rive droite (résolution de 0,1°C).



Accès à deux chroniques de température de l'eau de la Loire – proche de la surface et au fond, permettant d'appréhender une éventuelle stratification thermique au niveau du pont Cessart

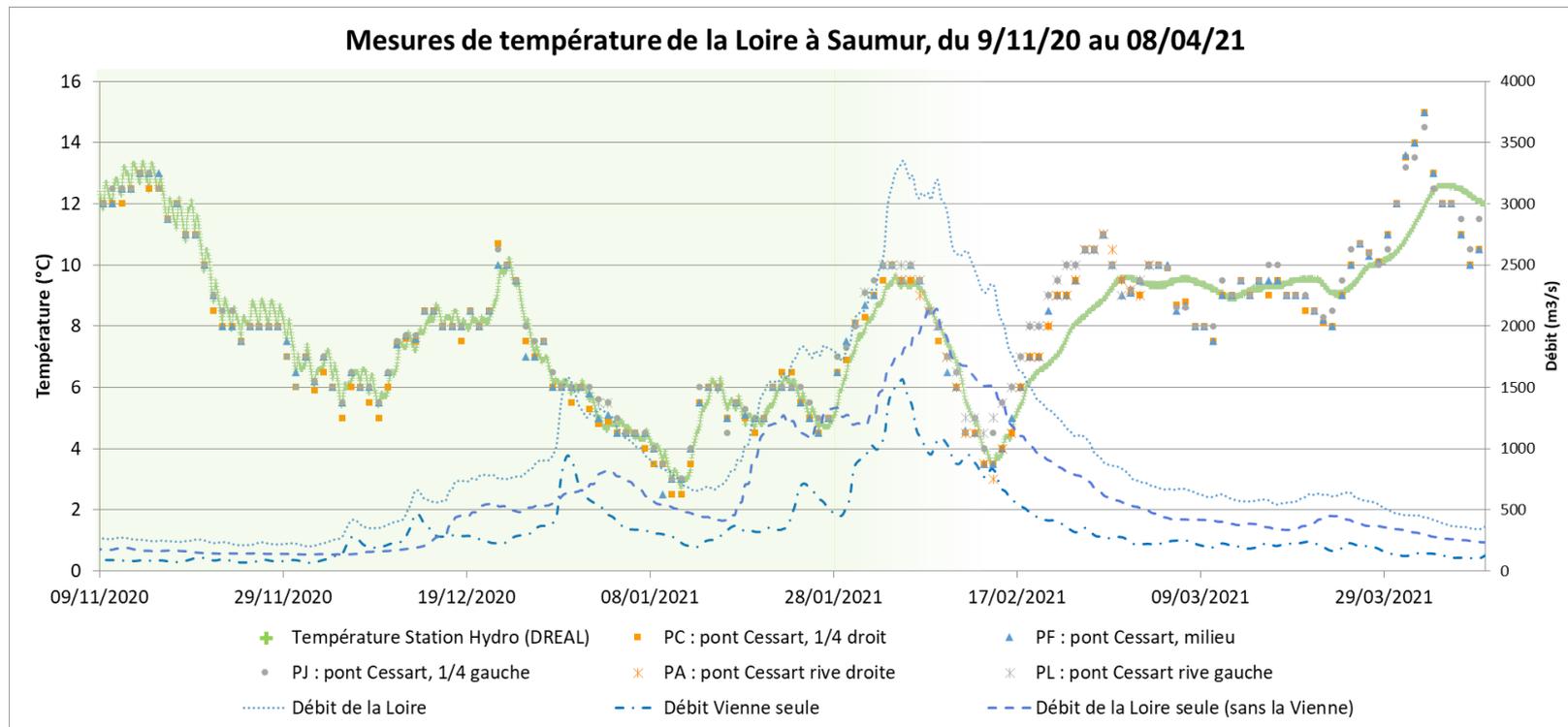
Investigation sur une éventuelle stratification thermique de la Loire

[MESURES DE TEMPÉRATURE DE LA LOIRE À SAUMUR

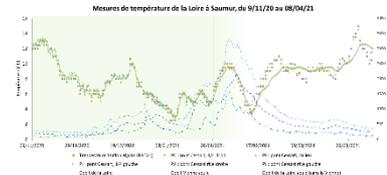


Investigation sur une éventuelle stratification thermique de la Loire

[MESURES DE TEMPÉRATURE DE LA LOIRE À SAUMUR



Investigation sur une éventuelle stratification thermique de la Loire



[MESURES DE TEMPÉRATURE DE LA LOIRE À SAUMUR

■ **De novembre 2020 à fin janvier 2021 : pas d'écart notable de température entre le fond et la surface (pour une large gamme de débits et hauteur d'eau, et pour des températures variant de 2,5 à 13°C)**

■ **Des écarts notables entre le fond et la surface depuis la crue de février 2021**

- pas de lien avec la hauteur d'eau (débit),
- une dérive de la sonde DREAL a été exclue (vérification tous les 4 mois - la dernière le 24/03/21)
- la variabilité diurne de la chronique de la sonde du fond a disparu depuis la crue, ce qui pourrait suggérer un envasement de cette sonde à la suite de celle-ci.
- **une vérification sur site par la DREAL le 07/05/21 montre que la sonde est ensablée**



Les écarts de température entre la surface et le fond à compter de février sont très probablement **dus à un ensablement de la sonde après la crue** (qui ne mesurerait plus convenablement la température de l'eau de la Loire)



Pas de stratification thermique mise en évidence entre l'eau du fond et l'eau proche de la surface au niveau du pont Cessart pendant la campagne

[MERCI]

[QUESTIONS ?]

→ MODÉLISATION 2D