

ETUDE DU TRITIUM DANS LA LOIRE À SAUMUR

Réunion 4 du comité de suivi – 28/06/2021
Ordre du jour – Modélisation 2D

Modélisation 2D - Objectif



Objectif : Modéliser la répartition transversale des concentrations en tritium dans la Loire entre le CNPE de Chinon et Saumur en fonction des conditions de débit de la Loire et la Vienne et des contributions du CNPE de Chinon, des CNPE Loire amont et du CNPE de Civaux.

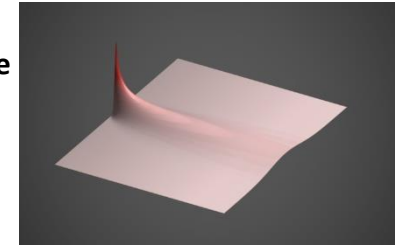
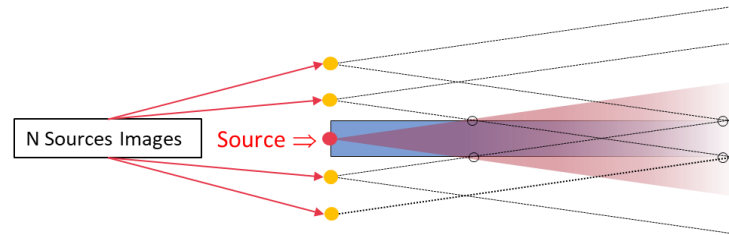
1. Présentation du modèle
2. Calibration du modèle à partir des traçages EDF (cf. présentation EDF à Réunion 3)
3. Application de la modélisation 2D aux mesures ACRO à Saumur
4. Application de la modélisation 2D aux mesures IRSN à Saumur
5. Application de la modélisation 2D à la SMP aval du CNPE de Chinon
6. Application de la modélisation à la mesure atypique du 21 janvier 2019
7. Conclusions

Modélisation 2D – Présentation du modèle



A un bief : homogénéité verticale et régime permanent et uniforme

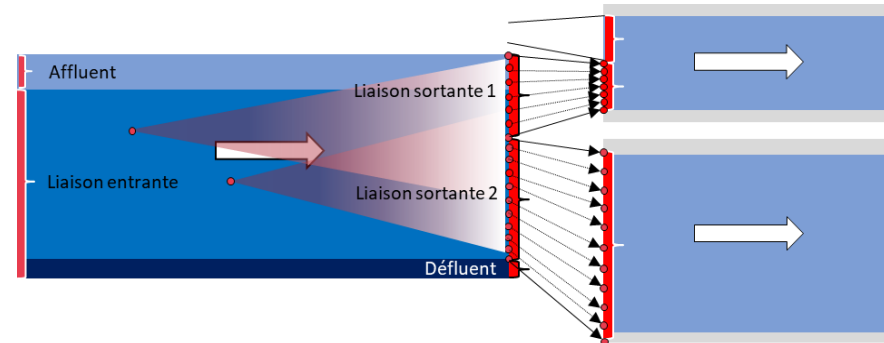
- ⇒ Solution analytique pour la contribution de chaque source (rejet, flux amont, bdf...) en tout point du bief
- ⇒ Prise en compte des rebonds du panache sur les berges par des sources virtuelles associées à chaque source



- ⇒ Les concentrations en tout point du bief sont données par la somme des contributions de toutes les sources

Sur le domaine : Connectivités des biefs en fonction des largeurs des liaisons entrantes et sortantes

- ⇒ Discrétisation des flux à la (aux) liaison(s) sortante(s) et projection à la (aux) liaison(s) entrante(s) du (des) bief(s) aval



Modélisation 2D – Présentation du modèle



Hypothèses complémentaires

- Sections rectangulaires
- Vitesses et hauteurs d'eau par relation de Strickler
- Coefficient de diffusion latérale par relation de Fisher

Synthèse des paramètres

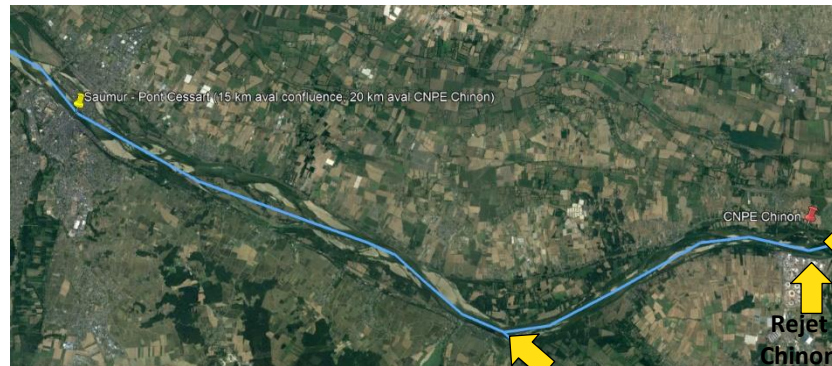
- **Aux biefs :** - longueur, pente, Strickler, largeurs liaisons et affluents et défluent droit (D) et gauche (G)
- débits d'apport aux liaisons entrantes et aux affluents D et G
- sources : coordonnées et débit de rejet (Bq/s)
- bdf (Bq/L) : aux affluents et aux liaisons entrantes
- **Réseau :** - Matrice des connectivités
- **Généraux :** - Pas d'espace latéral de discrétisation des flux : Δy (m)
- Nombre d'image pour chaque sources : NI
- Pas d'espace des résultats : Δx (m)

Domaine d'étude

- CNPE Chinon → Saumur
- $\Delta y = 2$ m
- NI = 10

Sources

1. Bruit de fond : 2Bq/L
2. Concentration (Bq/l) et débit (m^3/s) Loire amont Chinon
3. Rejet Chinon distribués sur les 11 buses de rejet
4. Concentration (Bq/l) et débit Vienne (m^3/s)



C_{Vienne}
 Q_{Vienne}

$C_{LoireAmont}$
 $Q_{LoireAmont}$

Modélisation 2D - Calibration à partir des traçages

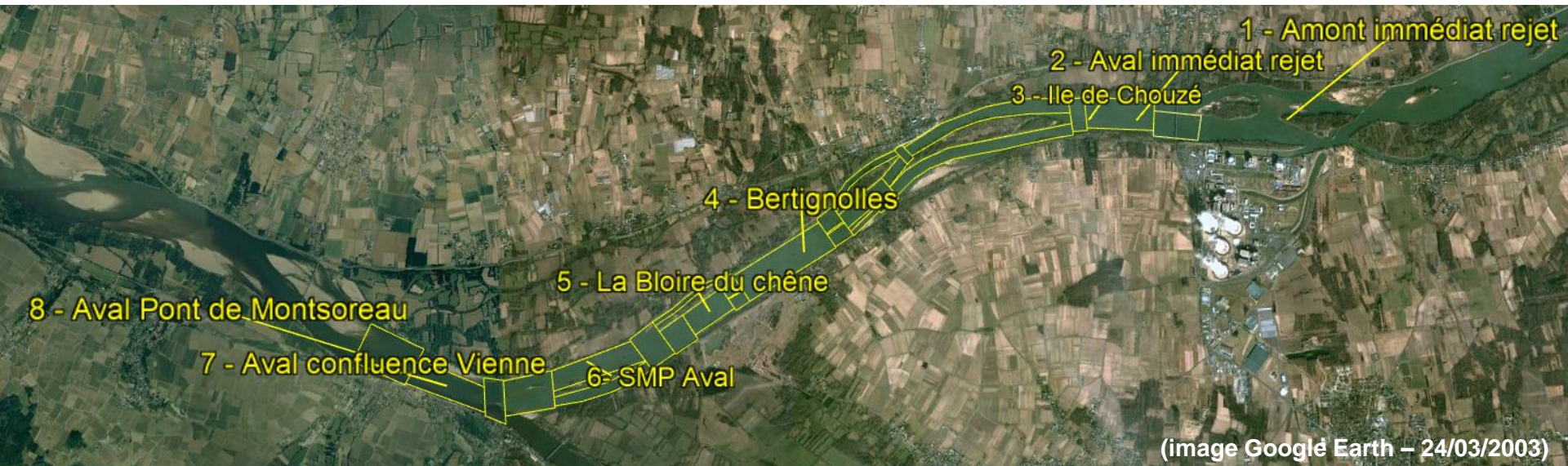
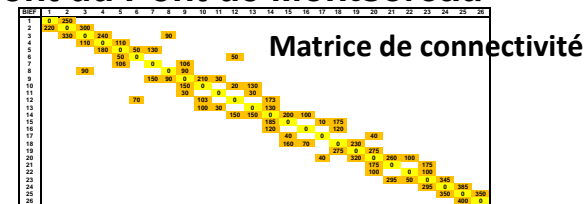
EDF



Campagne du 27 mars 2019 : 8 sections entre le CNPE de Chinon et l'amont du Pont de Montsoreau

Conditions de calcul : 26 biefs

$Q_{\text{LoireAmont}}$ (m ³ /s)	Q_{Vienne} (m ³ /s)	$C_{\text{LoireAmont}}$ (Bq/l)	C_{Vienne} (Bq/l)	q_{Chinon} (MBq/s)
377	105	30	26	11*0.39



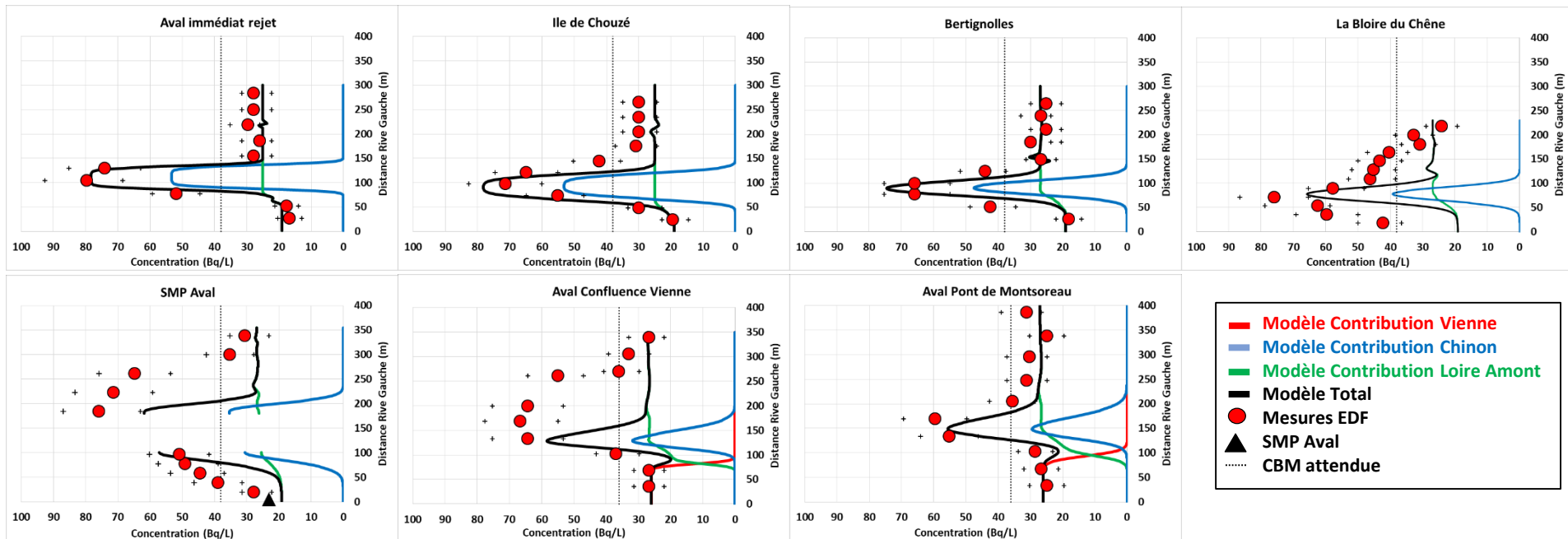
(image Google Earth – 24/03/2003)

Modélisation 2D - Calibration à partir des traçages



Campagne du 27 mars 2019

EDF



- Accord modèle/mesure dans le champ proche jusqu'à Bertignolles.
- Modélisation imparfaite de la diffusion vers la rive droite dans la zone entre La Bloire du Chêne et la confluence avec la Vienne.
- Accord modèle/mesure retrouvé à Montsoreau
- Mesures et modèle indiquent que la mesure SMP aval n'est pas représentative de la CBM et qu'elle capte le bord gauche du panache

Modélisation 2D - Calibration à partir des traçages EDF



Campagne du 24 juin 2020 : 6 sections entre le CNPE de Chinon et Saumur

Conditions de calcul : 52 biefs – 26 premiers biefs identiques à la campagne précédente

$Q_{\text{LoireAmont}}$ (m^3/s)	Q_{Vienne} (m^3/s)	$C_{\text{LoireAmont}}$ (Bq/l)	C_{Vienne} (Bq/l)	q_{Chinon} (MBq/s)
346	57	2	2	11*0.43

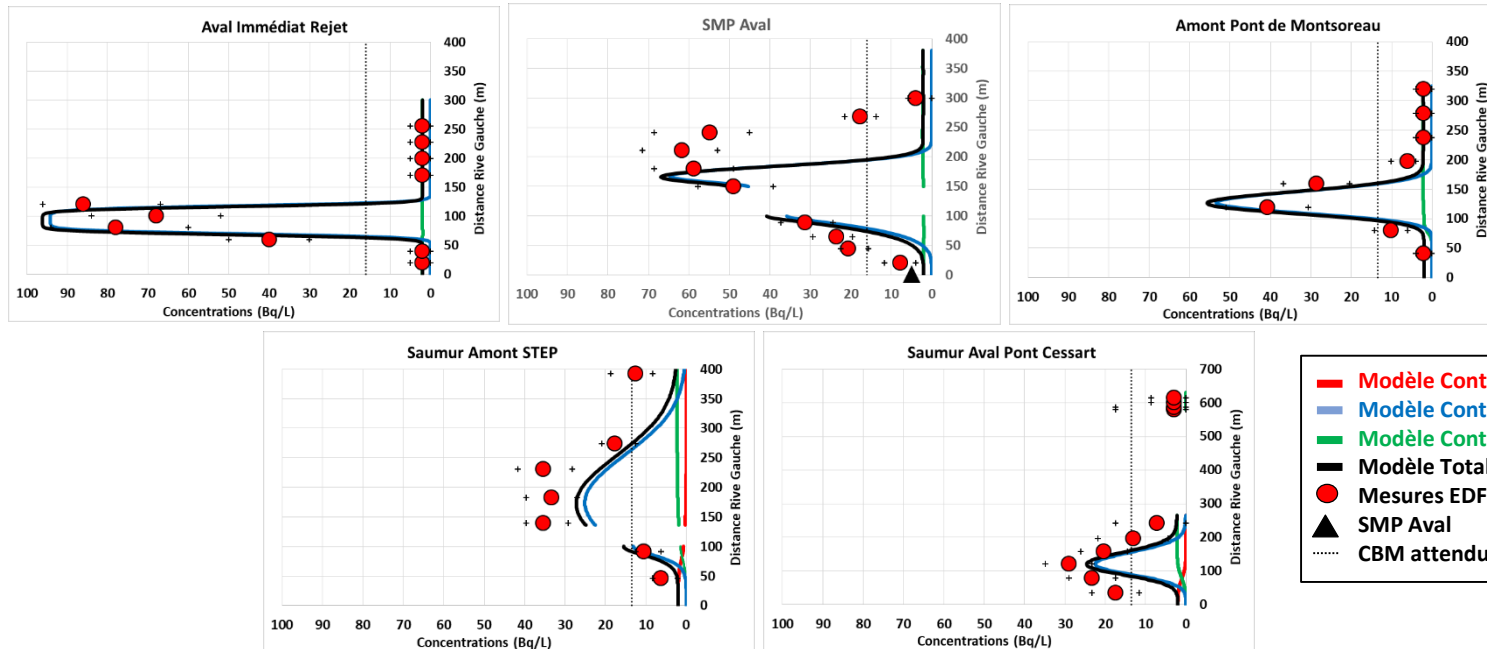


Modélisation 2D - Calibration à partir des traçages

EDF



Campagne du 24 juin 2020



- Accord modèle/mesure dans le champ proche et à l'aval du Pont de Montsoreau jusqu'à Saumur.
- Modélisation imparfaite de la diffusion vers la rive droite à la SMP aval (idem traçage précédent).
- Mesures et modèle indiquent que la mesure SMP aval n'est pas représentative de la CBM et qu'elle capte le bord gauche du panache
- **Mesures et modèle confirment que la distribution latérale du panache n'est pas homogène à Saumur**

Modélisation 2D - Calibration à partir des traçages

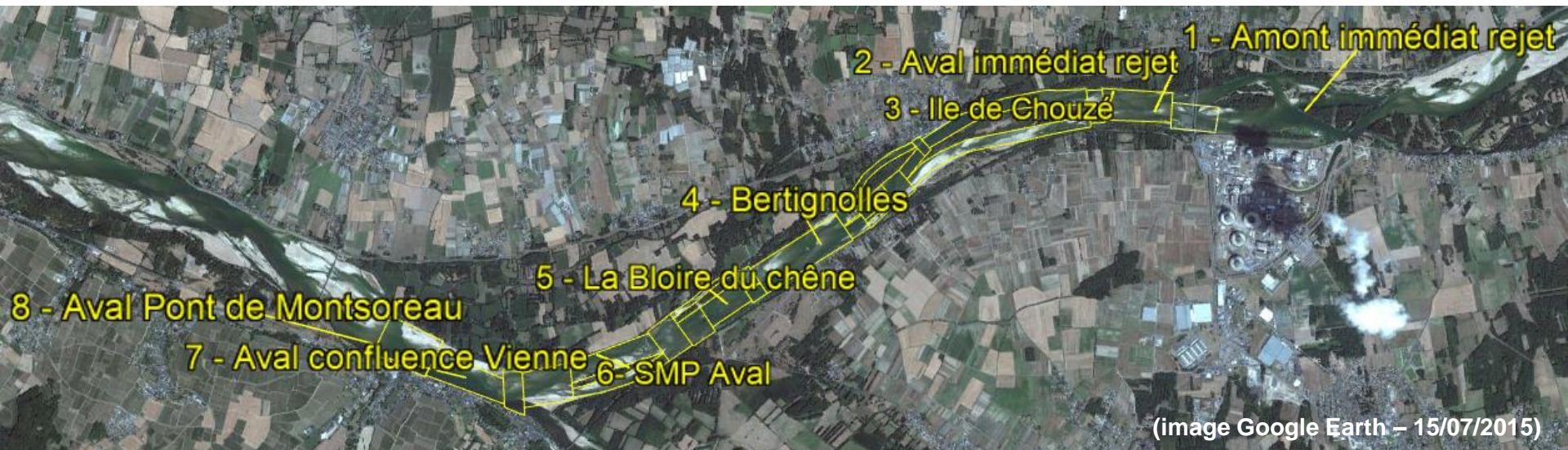


EDF

Campagne du 25 octobre 2017 : 8 sections entre le CNPE de Chinon et Saumur

Conditions de calcul : 26 biefs

$Q_{\text{LoireAmont}}$ (m^3/s)	Q_{Vienne} (m^3/s)	$C_{\text{LoireAmont}}$ (Bq/l)	C_{Vienne} (Bq/l)	q_{Chinon} (MBq/s)
95	38	17	2	11*0.21



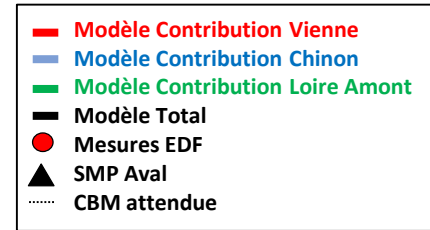
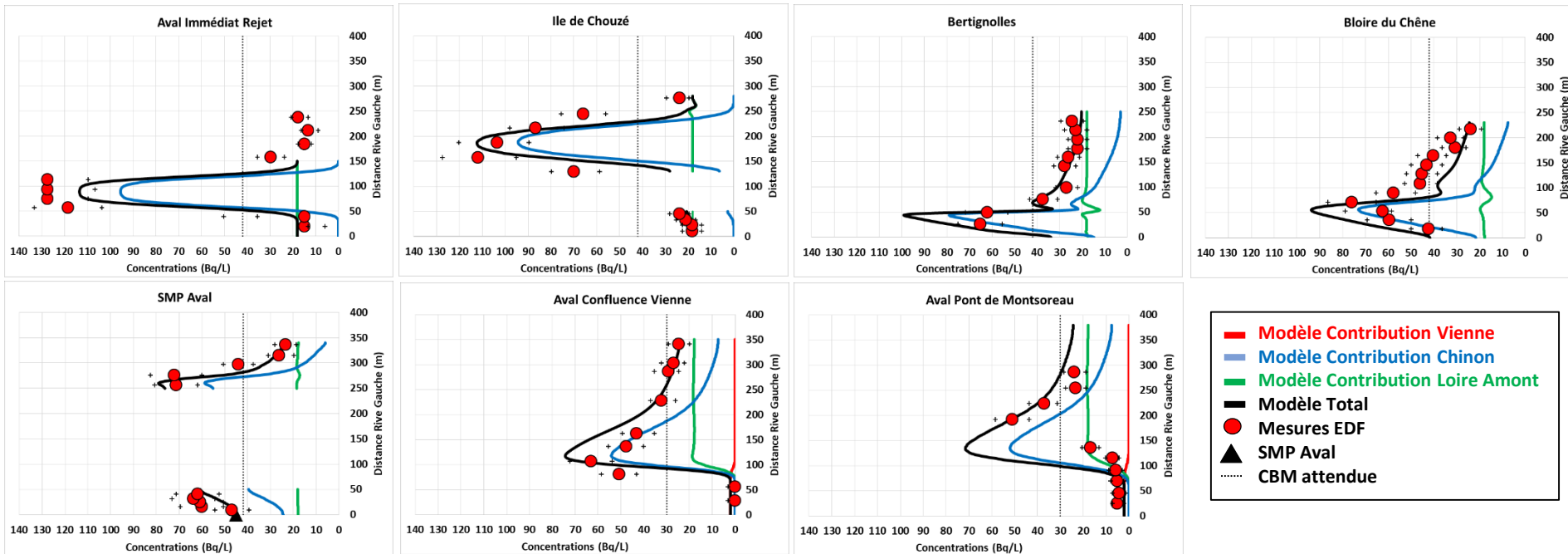
(image Google Earth – 15/07/2015)

Modélisation 2D - calibration à partir des traçages



EDF

Campagne du 25 octobre 2017



- Accord modèle/mesure sur l'ensemble du domaine.
- Mesures et modèle indiquent que la mesure SMP capte le bord gauche du panache représentatif de la CBM
-> diffusion plus efficace à faible débit

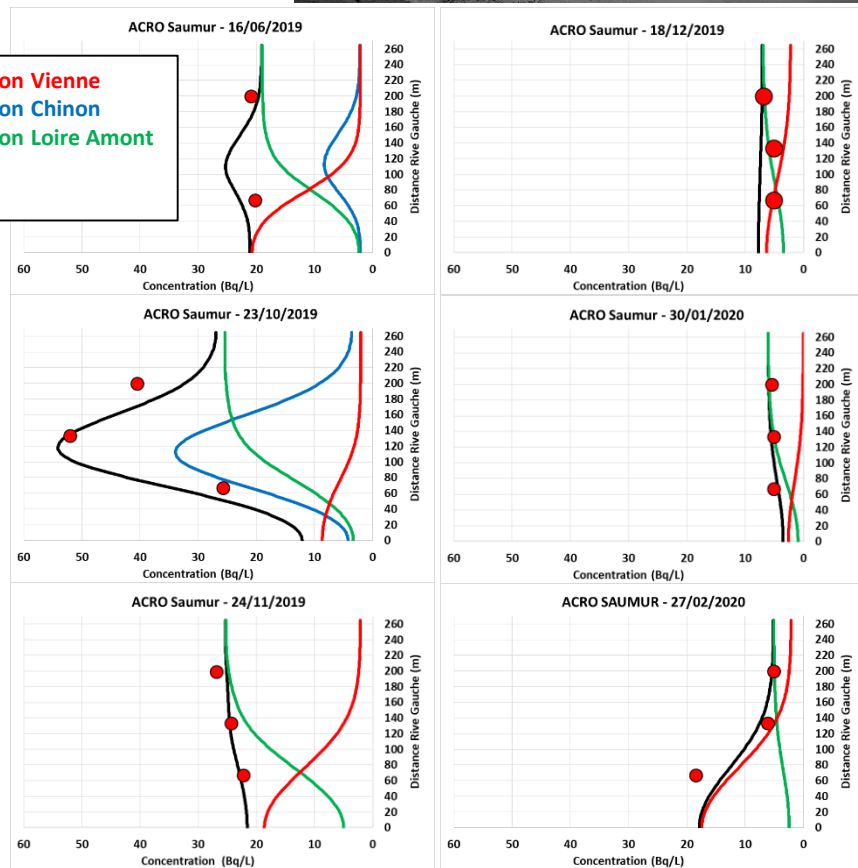
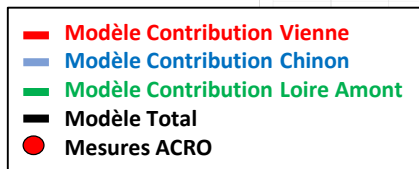
Modélisation 2D - Application aux mesures ACRO à Saumur



à Saumur

Conditions de calcul

- Q_{rejet} réparti entre les 11 buses de la clarinette
- $NI = 10$
- $\Delta y = 2$ m
- $\Delta x = \text{Saumur (Pont Cessart)}$
- 1D → 2D : Débits et sources déterminés par modélisation 1D



Date	$Q_{\text{LoireAmont}}$ (m ³ /s)	Q_{Vienne} (m ³ /s)	$C_{\text{LoireAmont}}$ (Bq/l)	C_{Vienne} (Bq/l)	C_{Chinon} (Bq/l)
16/06/2019	124	100	18	21	5
23/10/2019	139	82	20	9	31
24/11/2019	312	240	25	21	0
18/12/2019	1360	850	7	8	0
30/01/2020	395	300	6	3	0
27/02/2020	460	202	5	18	0



Accord modèle 2D/mesure ACRO à différents régimes de débit et de rejet

Modélisation 2D - Application aux mesures IRSN à Saumur

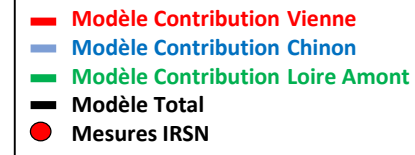
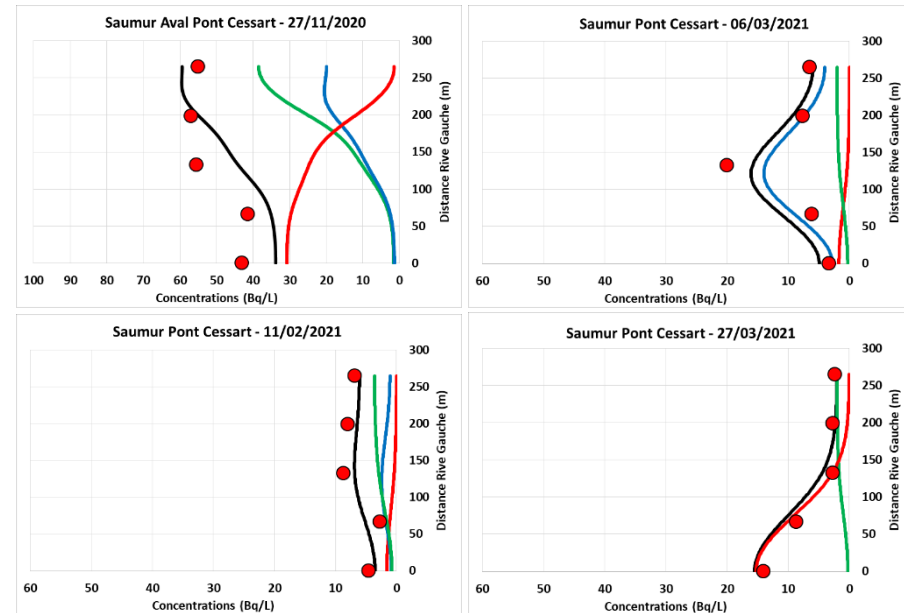


Conditions de calcul

- q_{rejet} réparti entre les 11 buses de la clarinette
- $NI = 10$
- $\Delta y = 2$ m
- $\Delta x = \text{Saumur (Pont Cessart)}$

- Débits et sources déterminés par modélisation 1D (1D \rightarrow 2D) et mesures

Date	$Q_{\text{LoireAmont}}$ (m^3/s)	Q_{Vienne} (m^3/s)	$C_{\text{LoireAmont}}$ (Bq/l)	C_{Vienne} (Bq/l)	q_{Chinon} (MBq/s)
27/11/2020	146	80	40	30	2.34
11/02/2021	1673	942	3.6	0.4 (2)	5.00
06/03/2021	415	248	0 (2)	0 (2)	7.63
27/03/2021	363	201	1(2)	17.5	0.00



Accord modèle 2D/mesure IRSN à différents régimes de débit et de rejet



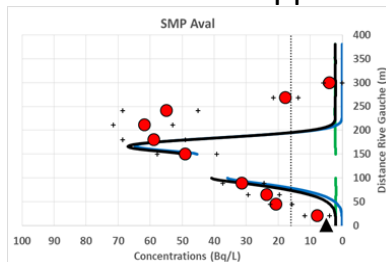
Synthèse des applications du modèle

- Grâce au calage avec les études de dilution EDF, on obtient un bon accord entre la modélisation 2D et les différentes mesures de l'ACRO et de l'IRSN ⇒ **Satisfaisant**
 - **A Saumur :**
 - Concentrations côté droit influencées par les apports Loire amont et Chinon
 - Concentrations au centre influencées par les trois contributions
 - Concentrations côté gauche influencées par les apports Vienne
 - **SMP Aval :**
 - Confirmation de la représentativité limitée des mesures à la SMP Aval de Chinon
- ⇒ **Résultats en accord avec les modélisations 1D**

Modélisation 2D – Interprétation de la surveillance à la SMP aval



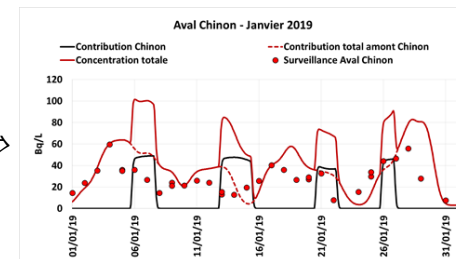
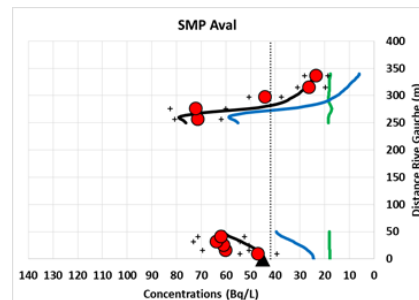
- **Pas de mélange homogène** des panaches du CNPE de Chinon à la SMP aval.
Les pics passent essentiellement dans le bras droit à l'opposé du prélèvement



- **Prélèvements SMP dans le bord gauche du panache** ⇒

- Rares détections des rejets Chinon pour débits > 100 m³/s : *Modélisation 1D* ⇒
- Mais détection concentration de bon mélange (CBM) à faible débit <~ 100 m³/s

Traçages EDF et modélisation 2D ⇒



+ Effet probable des affluents gauches de la Loire qui diluent les concentrations côté berge gauche

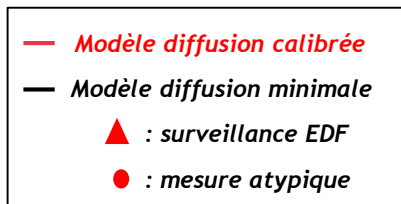
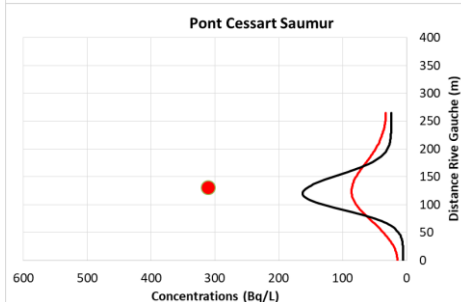
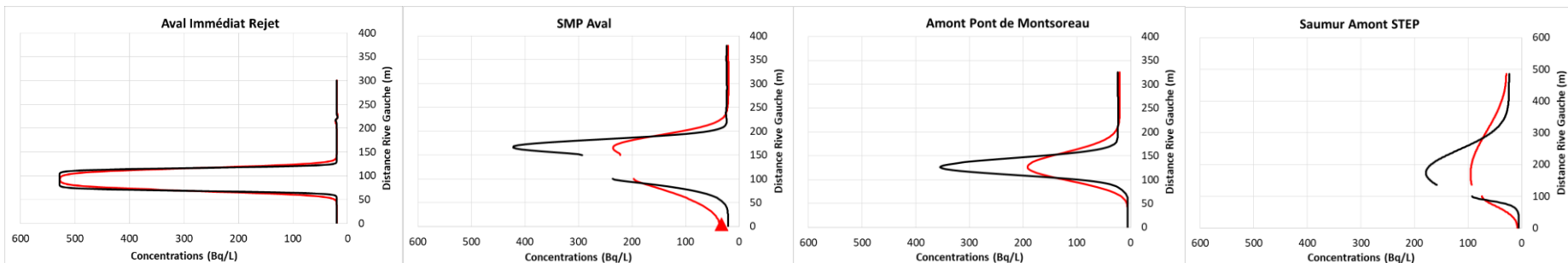
Modélisation 2D - Application à la mesure atypique du 21 janvier 2019 à Saumur



Conditions de calcul

- $q_{\text{rejet}} = 8.35 \text{ MBq/s}$ (registre ASN) répartis entre les 11 buses de la clarinette
- $NI = 10$
- $\Delta y = 2 \text{ m}$
- 1D → 2D : Débits et bdf sont déterminés par modélisation 1D
- Incertitude par balayage du coefficient de diffusion entre ses valeurs **calibrées (rouge)** et minimales (noir → maximisation du pic)

$Q_{\text{LoireAmont}}$ (m^3/s)	Q_{Vienne} (m^3/s)	$C_{\text{LoireAmont}}$ (Bq/l)	C_{Vienne} (Bq/l)
225	75	20	5



Avec l'hypothèse d'homogénéité verticale et pour les conditions connues :

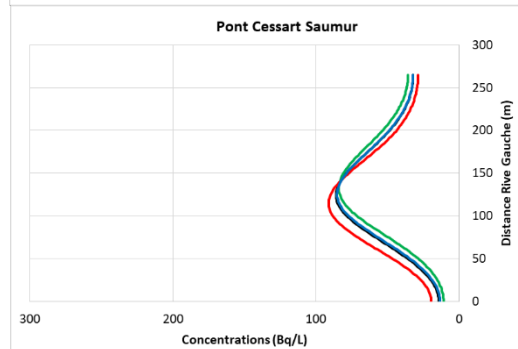
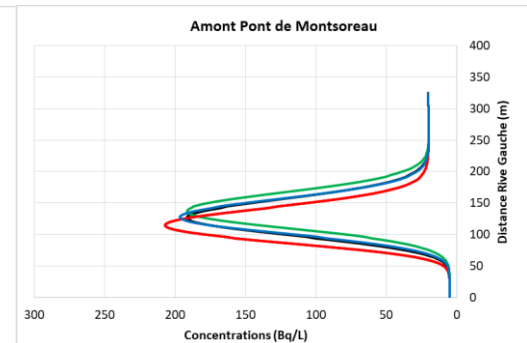
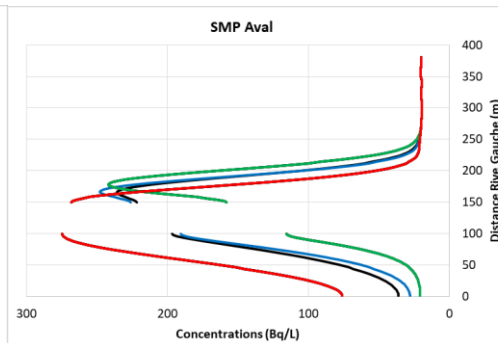
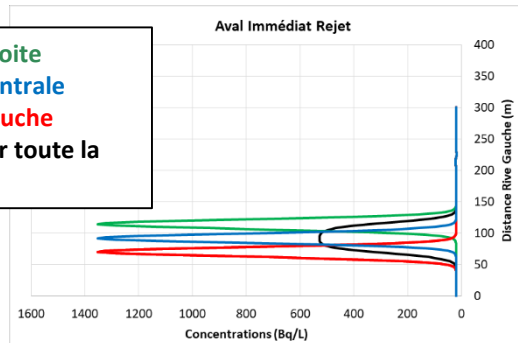
- **Modélisation 2D à Saumur (~ 80 Bq/L) ne retrouve pas les 310 Bq/L**
- Persistance de fortes concentrations dans l'axe du panache sur plusieurs km à l'aval du rejet.
- Accord modèle/mesure EDF pour la mesure à la SMP aval.

Modélisation 2D - Application à la mesure atypique du 21 janvier 2019 à Saumur



Tests pour des configurations hypothétiques de la clarinette de rejet de Chinon

1. Rejet 100% buse droite
2. Rejet 100% buse centrale
3. Rejet 100% buse gauche
4. Rejet homogène sur toute la clarinette



Avec l'hypothèse d'homogénéité verticale

L'état de fonctionnement (hypothèse) de la clarinette a des conséquences :

- sur la dilution des concentrations dans le champ proche du rejet
- sur le positionnement du panache à la SMP
- négligeable à l'aval de la confluence avec la Vienne (Saumur)

Modélisation CASTEAUR 2D – Conclusions



A Saumur

- **Modélisation 2D est en bon accord avec les mesures ACRO et IRSN**
- Modélisation 2D montre une dispersion des rejets de Chinon avec des concentrations en tritium variant de plusieurs centaines de Bq/L à proximité immédiate du point de rejet à plusieurs dizaines de Bq/L à Saumur, en accord avec les mesures
- **L'état de la clarinette** impacte les concentrations dans le champ proche du rejet et **n'a que très peu d'effet à Saumur**

Mesure atypique du 21 janvier 2019

- De même que la modélisation 1D, la modélisation 2D (activité 3H ~80 Bq/L) **ne permet pas de retrouver la mesure (310 Bq/L) au Pont Cessart** (même si le maximum est au centre au Pont)

SMP Aval du CNPE de Chinon

- **Confirmation de la représentativité limitée des mesures à la station SMP aval vis-à-vis des rejets CNPE de Chinon.** Le prélèvement à 5 m de la berge gauche détecte la partie gauche des panaches
- **Détection satisfaisante de la concentration de bon mélange (CBM) à faibles débits (< 100 m³/s)**

[MERCI]
[QUESTIONS ?]

→ CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE

Modélisation 2D - Présentation

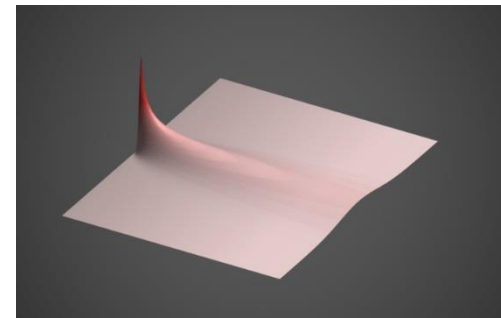


A un bief : homogénéité verticale et régime permanent et uniforme

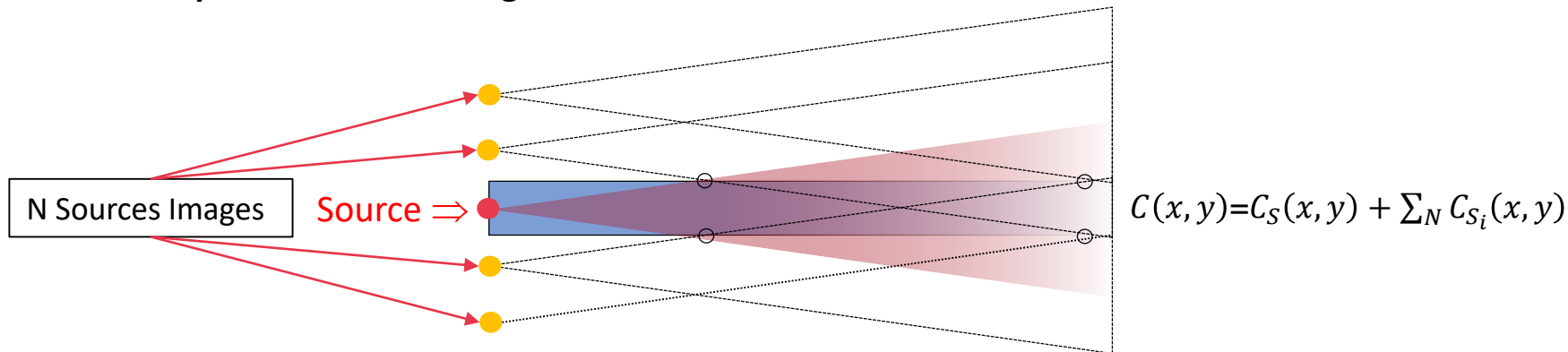
⇒ **Contribution d'une source en tout point d'un bief**

$$C_S(x, y) = \frac{q_S}{h \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot K_y \cdot U \cdot (x - x_S)}} \cdot e^{-\frac{U \cdot (y - y_S)^2}{4 \cdot K_y \cdot (x - x_S)}}$$

q_s : débit de rejet ($Bq \cdot s^{-1}$) ; (x_s, y_s) : coordonnées du point de rejet ; $C(x, y)$: concentration au point (x, y) ; h : hauteur d'eau (m) ; K_y : coefficient de diffusion latérale ($m^2 \cdot s^{-1}$) ; U : vitesse débitante ($m \cdot s^{-1}$)



⇒ **Rebonds du panache sur les berges**



⇒ **Si plusieurs sources :** $C(x, y) = \sum_S (C_S(x, y) + \sum_N C_{S_i}(x, y))$