



Caractérisation statistique des évènements extrêmes et de leur évolution spatio-temporelle

Jérémy Rohmer

Pour que l'on se comprenne ... Période de retour*

La **probabilité d'occurrence** d'une crue est la probabilité que la magnitude de cette crue soit atteinte ou dépassée dans une année. L'inverse de la probabilité d'occurrence d'une crue est la « **période de retour de la crue** » et correspond à la durée moyenne⁸¹ entre deux crues d'au moins cette magnitude. Les crues centennales sont par exemple les crues dont la période de retour vaut 100 ans.

La probabilité d'occurrence d'une crue et, par suite, la période de retour, n'ont pas de valeur prédictive et s'appréhendent uniquement de manière statistique. Deux crues centennales peuvent en effet se produire une même année, ou peuvent être espacées de plusieurs siècles. Le tableau ci-dessous donne une lecture de ces notions⁸².



Pour que l'on se comprenne ... Période de retour*

La **probabilité d'occurrence** d'une crue est la probabilité que la magnitude de cette crue soit atteinte ou dépassée dans une année. L'inverse de la probabilité d'occurrence d'une crue est la « **période de retour de la crue** » et correspond à la durée moyenne⁸¹ entre deux crues d'au moins cette magnitude. Les crues centennales sont par exemple les crues dont la période de retour vaut 100 ans.

La probabilité d'occurrence d'une crue et, par suite, la période de retour, n'ont pas de valeur prédictive et s'appréhendent uniquement de manière statistique. Deux crues centennales peuvent en effet se produire une même année, ou peuvent être espacées de plusieurs siècles. Le tableau ci-dessous donne une lecture de ces notions⁸².

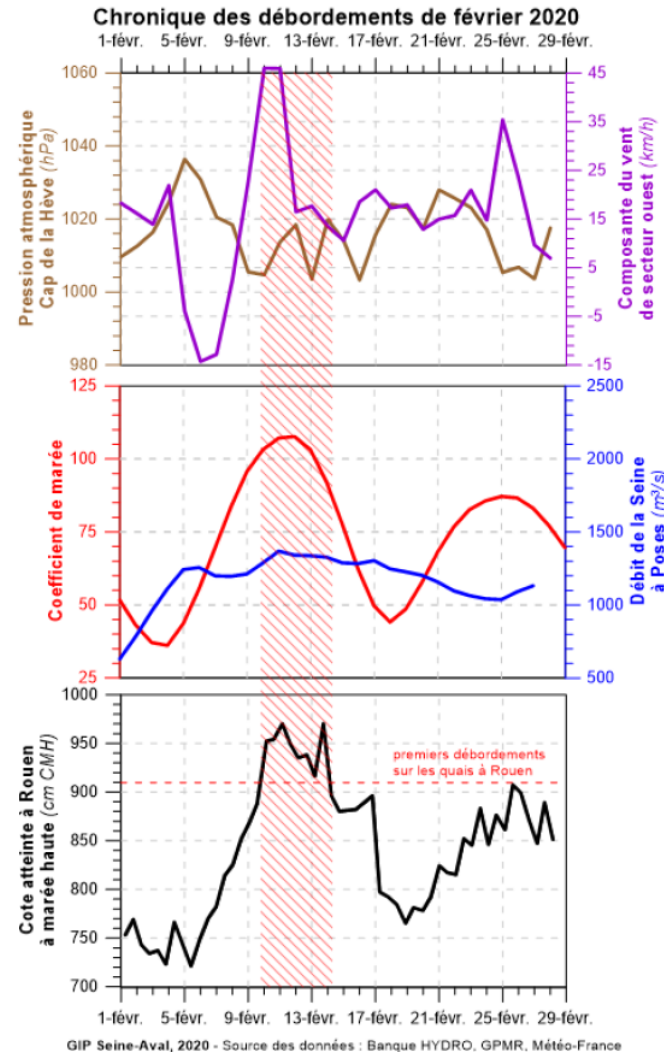
	Sur 1 an	Sur 30 ans	Sur 100 ans
Crue décennale	10 %	96 %	99,997 %
Crue trentennale	3 %	64 %	97 %
Crue cinquennale	2 %	45 %	87 %
Crue centennale ⁸³	1 %	26 %	63 %
Crue millénale	0,1 %	3 %	10 %

Tableau 3 : probabilité qu'une crue de fréquence donnée se produise ou soit dépassée au moins une fois sur une période donnée.

Motivation: l'évènement de février 2020



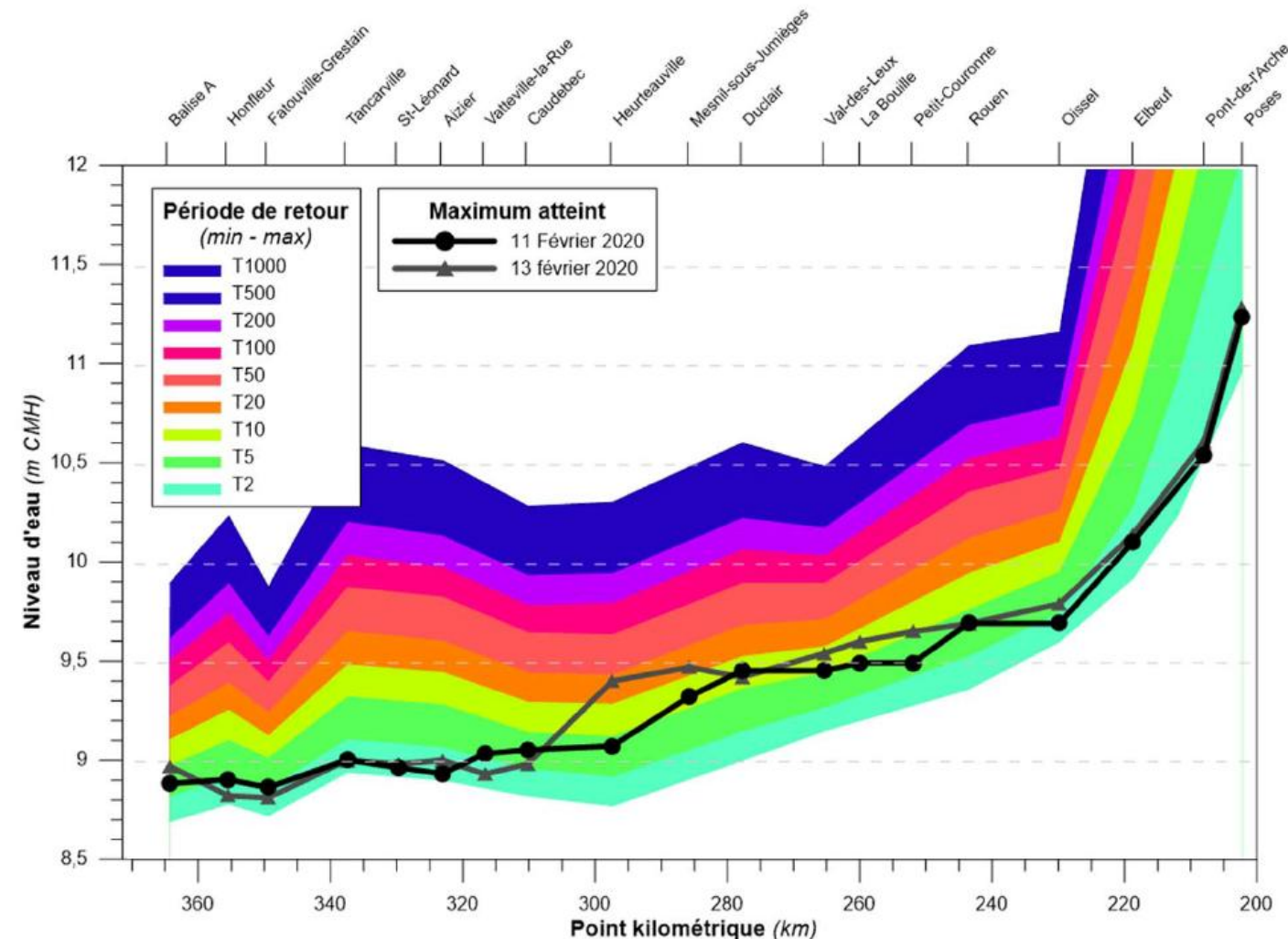
Ile Lacroix, Rouen le 13 février 2020 – Crédits : DREAL Normandie



- Evènements tempétueux (Ciara puis Inès)
- Coefficients marée > 100
- Débit fort (>1200m³/s à Vernon)



...atypique par l'évolution des périodes de retour

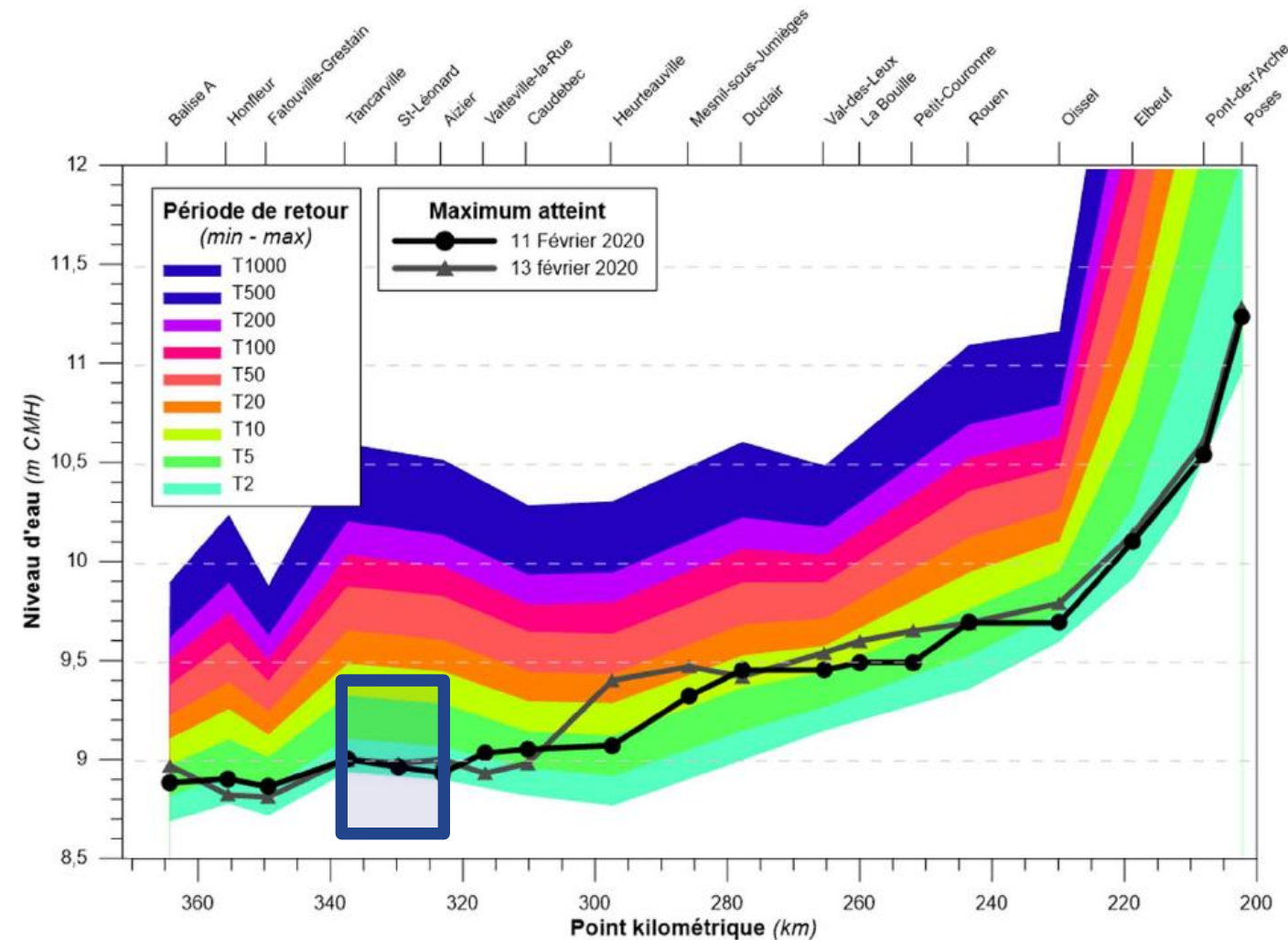


GIP Seine-Aval, 2020 - Source des données : ARTELIA, GPMR, DREAL-SPC

Basé sur

ARTELIA, 2019. Définition des périodes de retour des forçages et des niveaux de pleines mers en estuaire de Seine pour la gestion du risque inondation. Rapport réalisé pour le GIP Seine-Aval et la DREAL Normandie, 99p

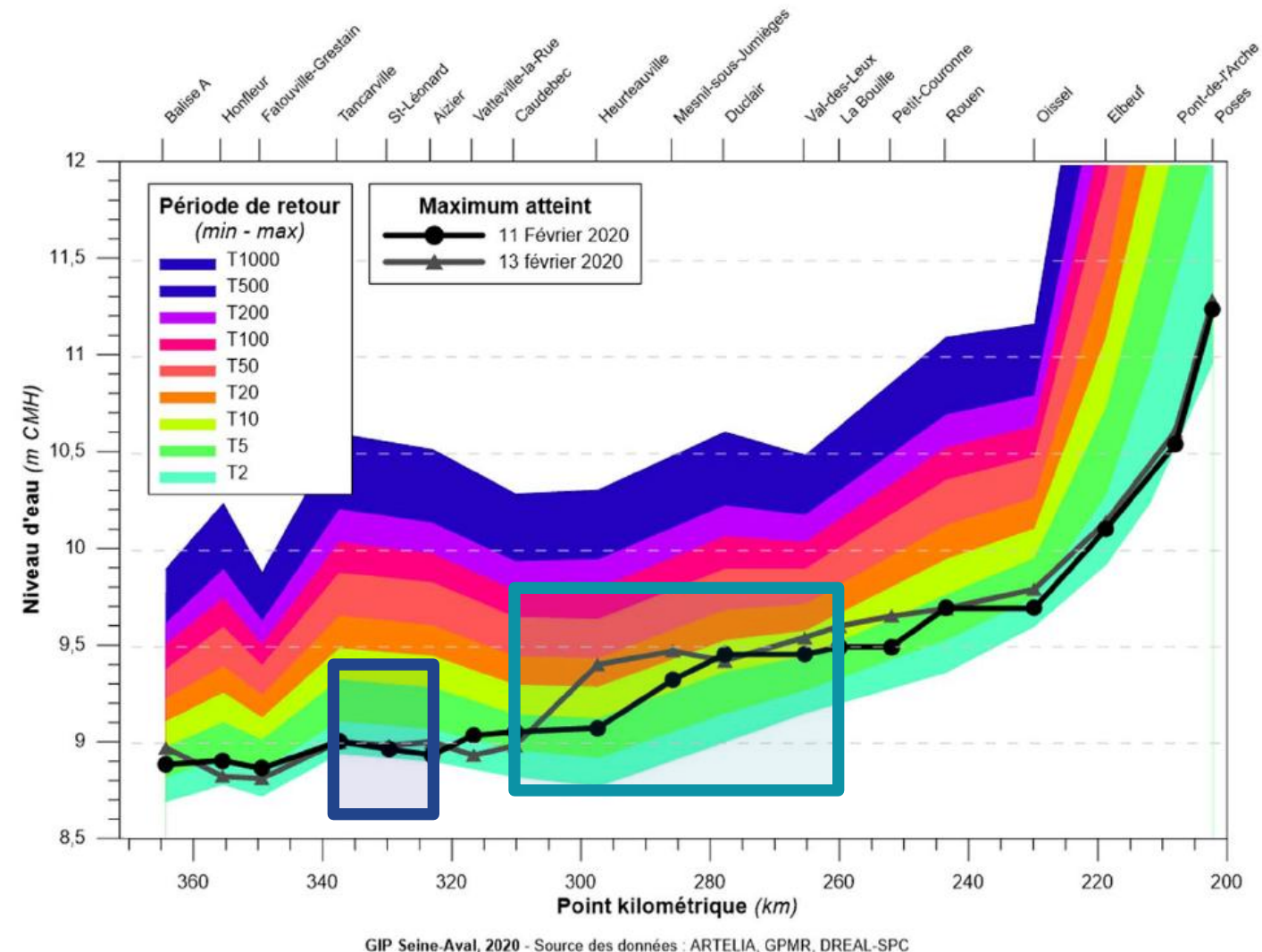
...atypique par l'évolution des périodes de retour



GIP Seine-Aval, 2020 - Source des données : ARTELIA, GPMR, DREAL-SPC

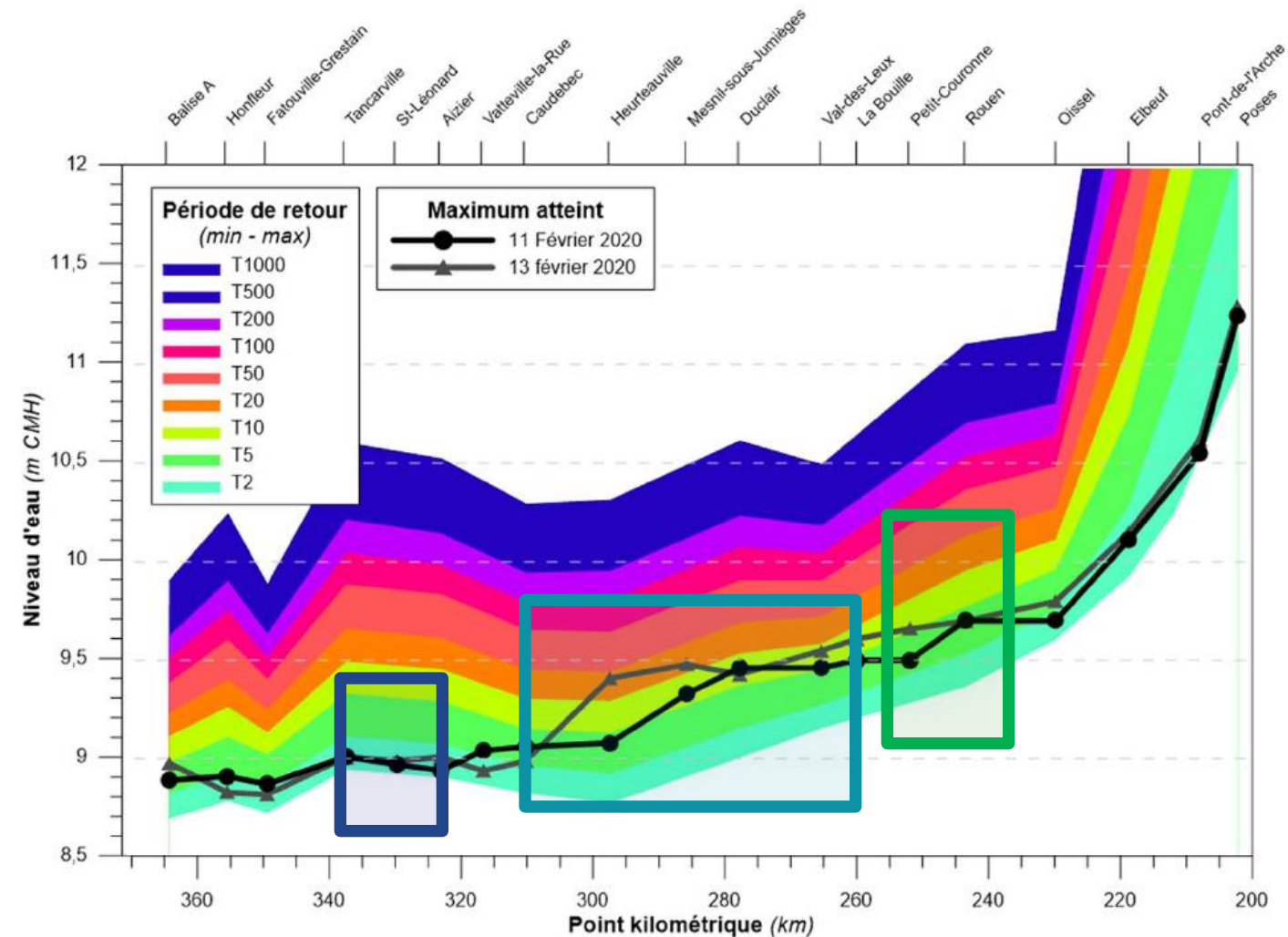
- 2 à 5 ans pour l'aval du tronçon

...atypique par l'évolution des périodes de retour



- 2 à 5 ans pour l'aval du tronçon
- 10 à 20 ans de Caudebec-en-Caux à La Bouille (20 à 50 ans entre Heurteauville et Mesnil-sous-Jumièges suite à Ines)

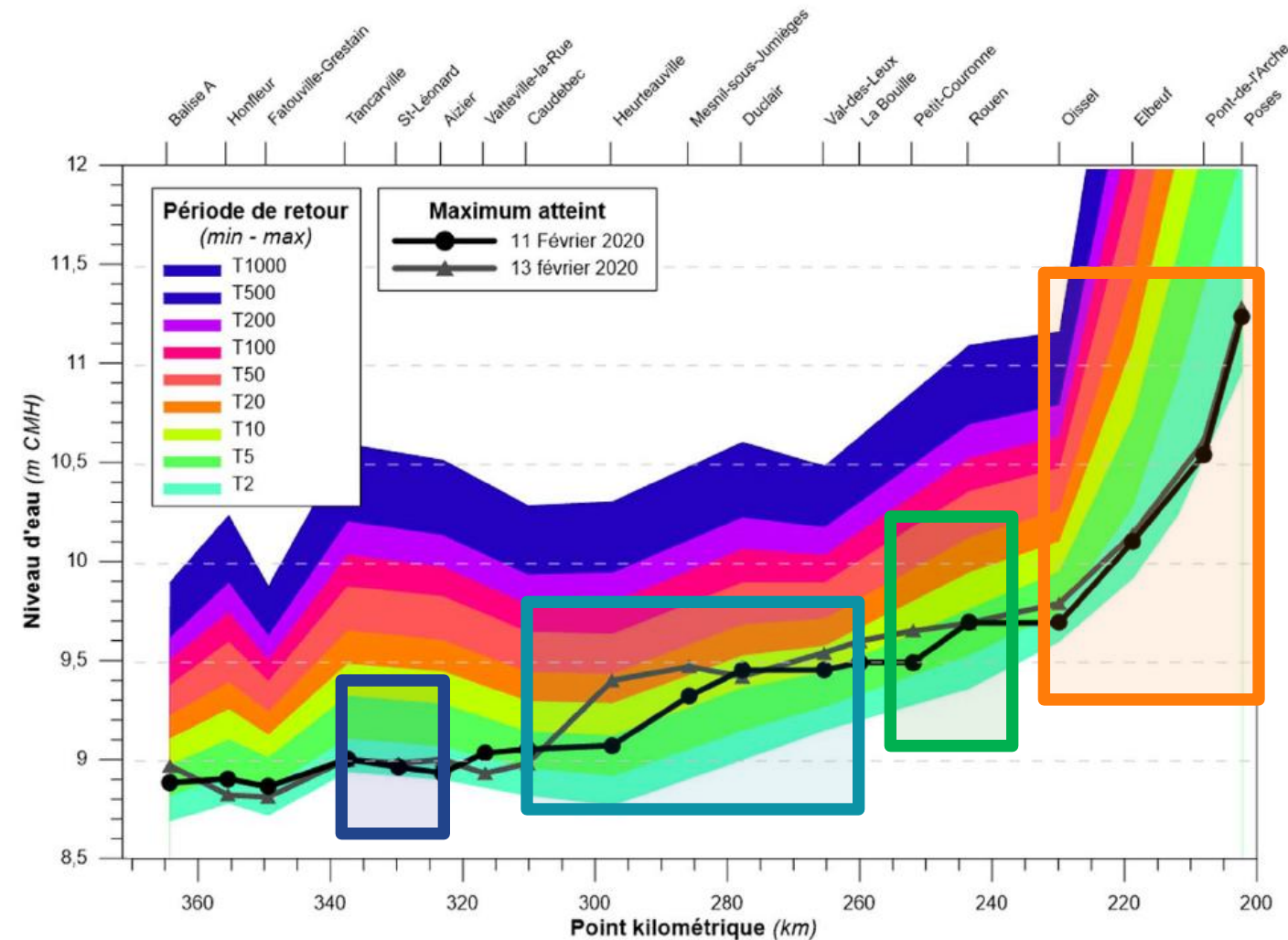
...atypique par l'évolution des périodes de retour



GIP Seine-Aval, 2020 - Source des données : ARTELIA, GPMR, DREAL-SPC

- 2 à 5 ans pour l'aval du tronçon
- 10 à 20 ans de Caudebec-en-Caux à La Bouille (20 à 50 ans entre Heurteauville et Mesnil-sous-Jumièges suite à Ines)
- 10 ans pour le secteur de Rouen

...atypique par l'évolution des périodes de retour



GIP Seine-Aval, 2020 - Source des données : ARTELIA, GPMR, DREAL-SPC

- 2 à 5 ans pour l'aval du tronçon
- 10 à 20 ans de Caudebec-en-Caux à La Bouille (20 à 50 ans entre Heurteauville et Mesnil-sous-Jumièges suite à Ines)
- 10 ans pour le secteur de Rouen
- 2 à 5 ans à l'amont de Rouen

...atypique par l'évolution des périodes de retour

« La période de retour **si différente** entre les marégraphes de Tancarville et Caudebec, et celle en amont Heurteauville à Rouen, alors que c'est un **événement tempétueux** ?

Le calcul des périodes de retour a été réalisé sur un unique paramètre :
cote de la plus forte pleine mer observée à chaque marégraphe »

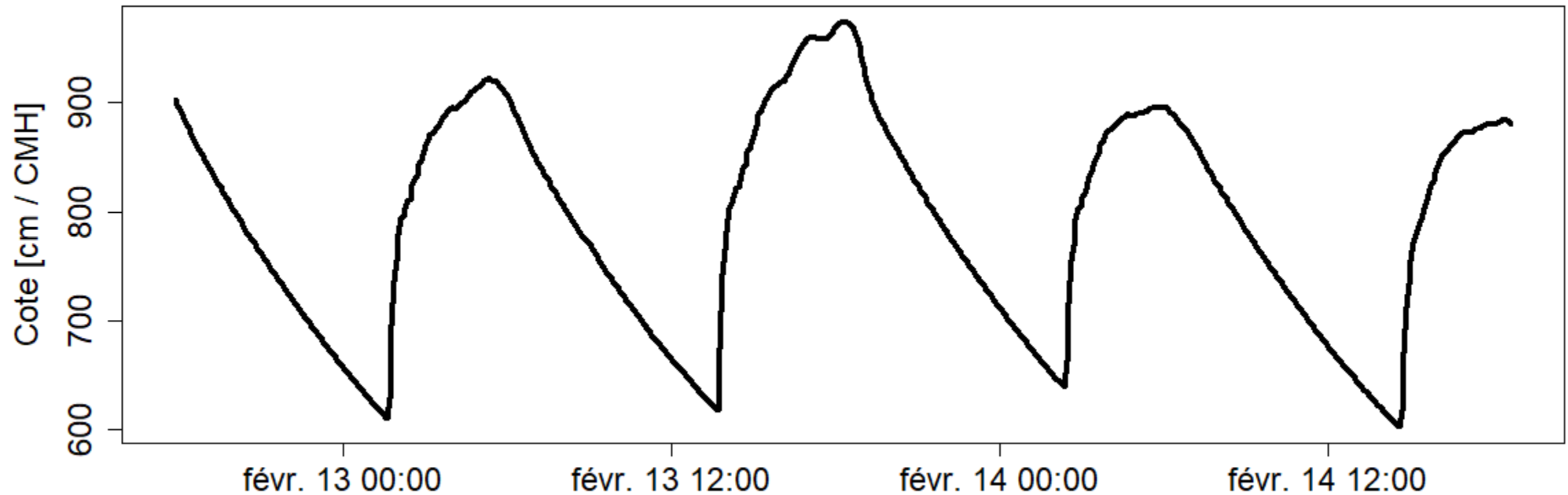
Page 17, Sect. 6, Service de Prévision des Crues Seine Aval Côtiers Normands.
Crues de la Seine de février et mars 2020, Retour d'expérience et analyses, Rapport Sept. 2020

Quelle est l'influence de la **tenue de plein**
(équivalent à la **durée** de la pleine mer dans l'estuaire)?

Point kilométrique (km)

GIP Seine-Aval, 2020 - Source des données : ARTELIA, GPMR, DREAL-SPC

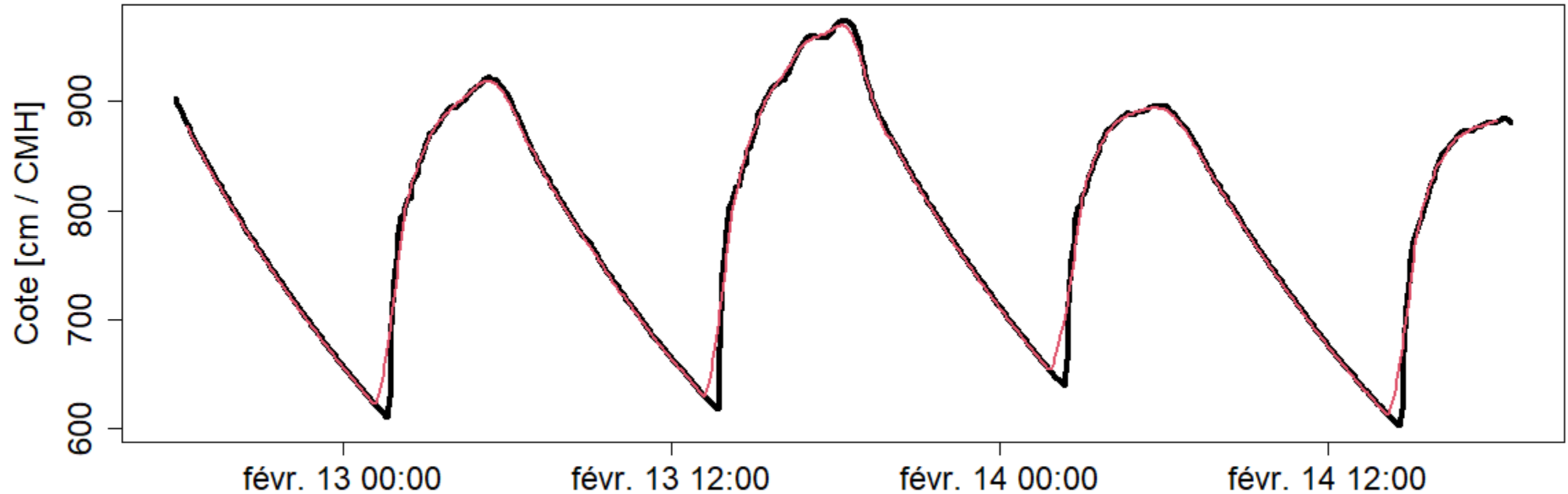
Chronique à Rouen



Données HAROPA PORT (pas de temps = 5 minutes)

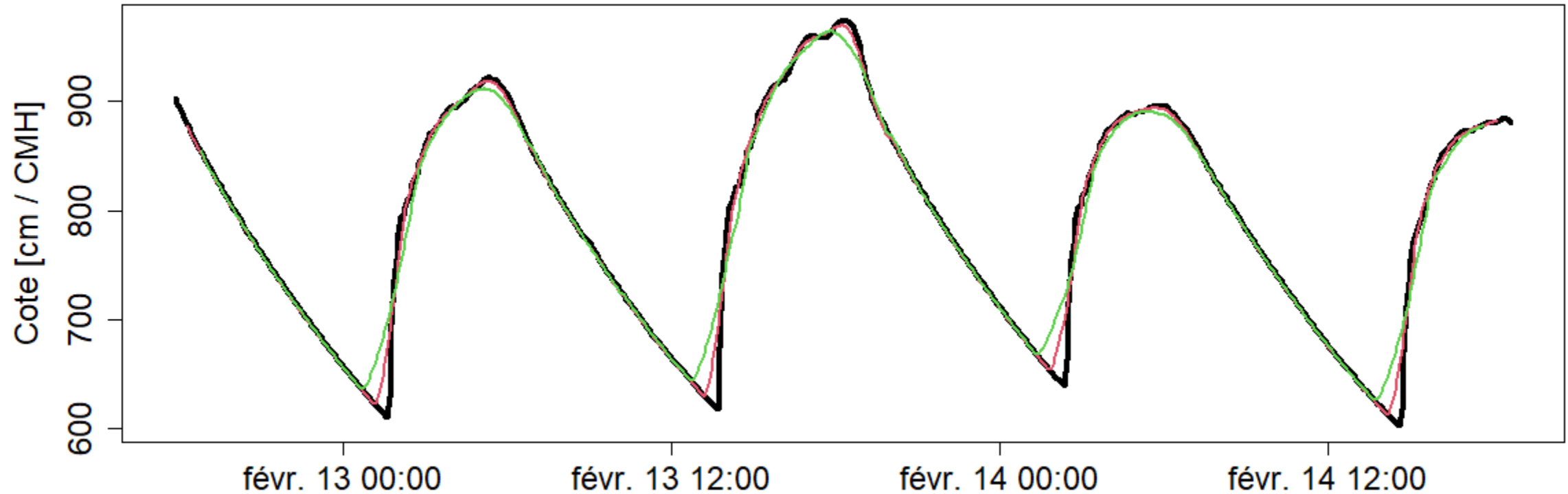
Chronique à Rouen

— Chronique moyennée sur 1 heure Z1



Chronique à Rouen

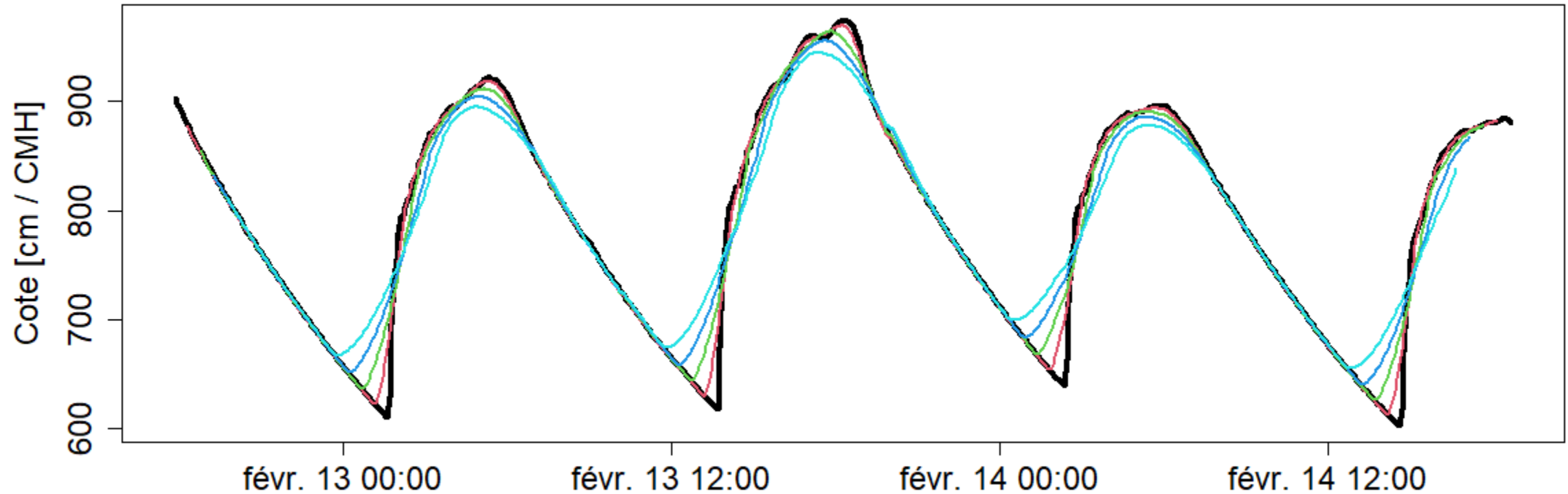
- Chronique moyennée sur 1 heure Z1
- Chronique moyennée sur 2 heures Z2



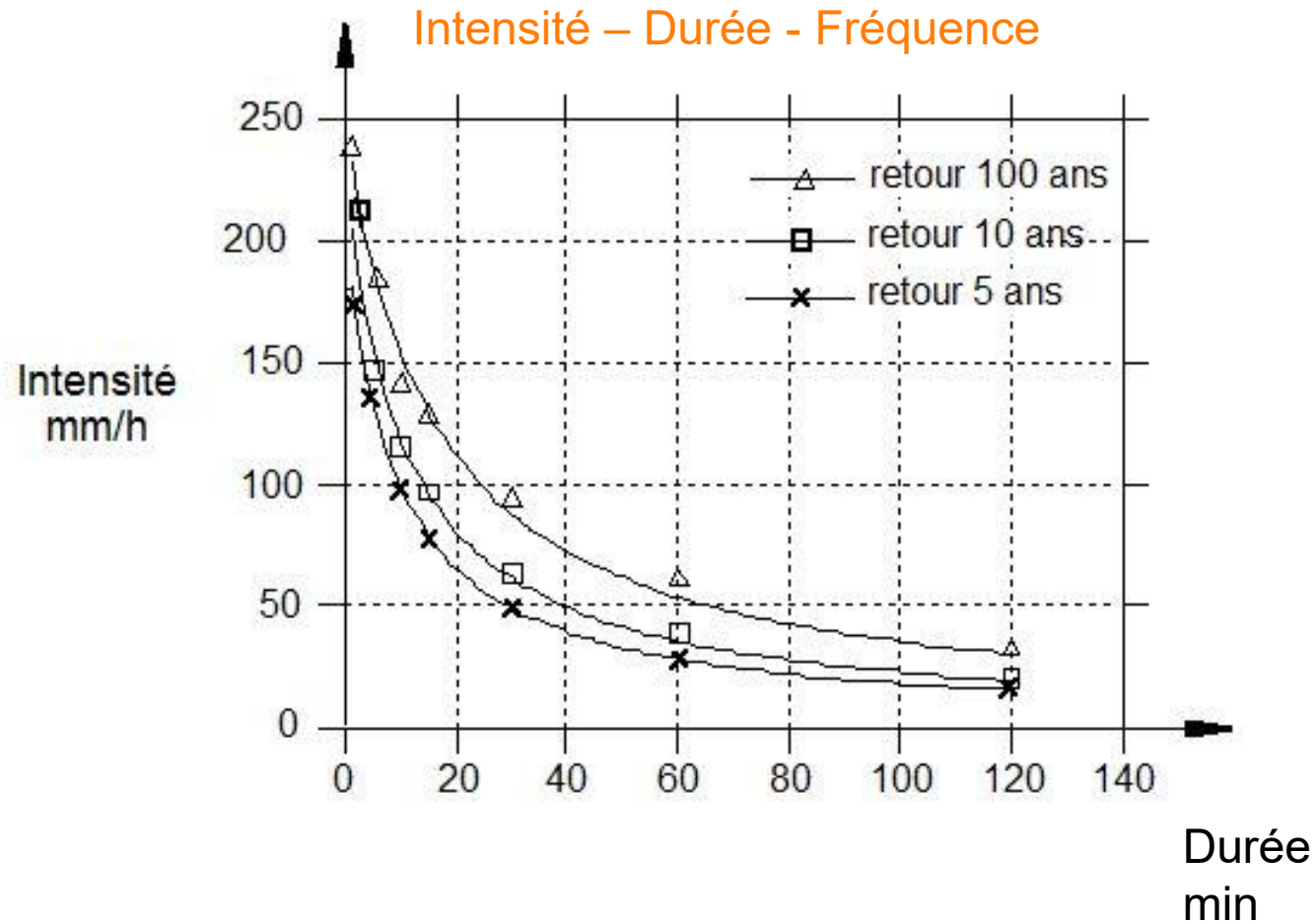
Données HAROPA PORT (pas de temps = 5 minutes)

Chronique à Rouen

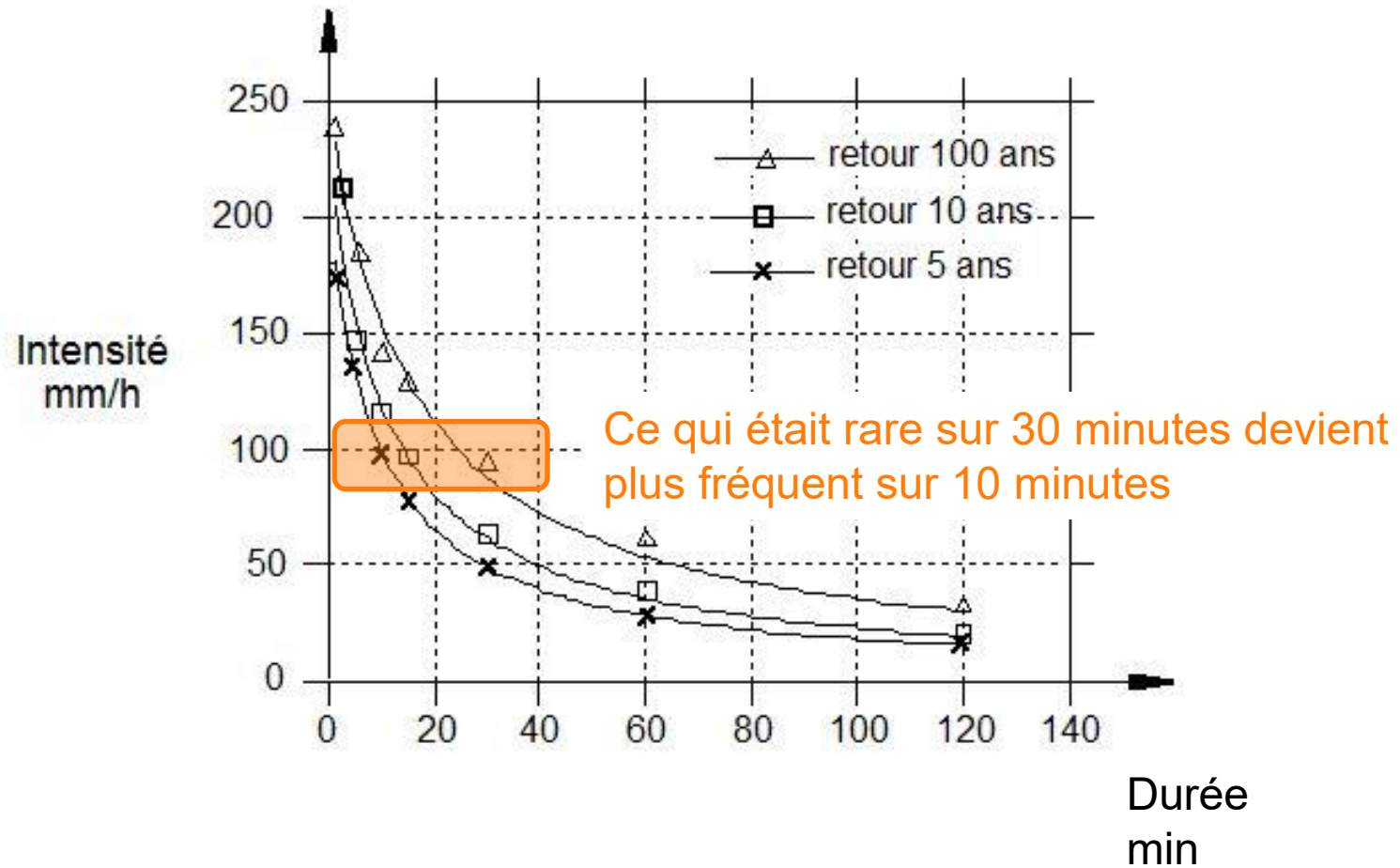
- Chronique moyennée sur 1 heure Z1
- Chronique moyennée sur 2 heures Z2
- Chronique moyennée sur 3 heures Z3
- Chronique moyennée sur 4 heures Z4



Analogie avec les analyses sur les précipitations



Analogie avec les analyses sur les précipitations



Projet CERES

<https://www.seine-aval.fr/projet/ceres/>

- Progresser dans la **caractérisation des évènements** de débordement.
- Cadre de la **théorie des valeurs extrêmes**
- Analyser **l'influence spatiale et des échelles temporelles**

Coordination scientifique :

Jérémy Rohmer – BRGM

Période :

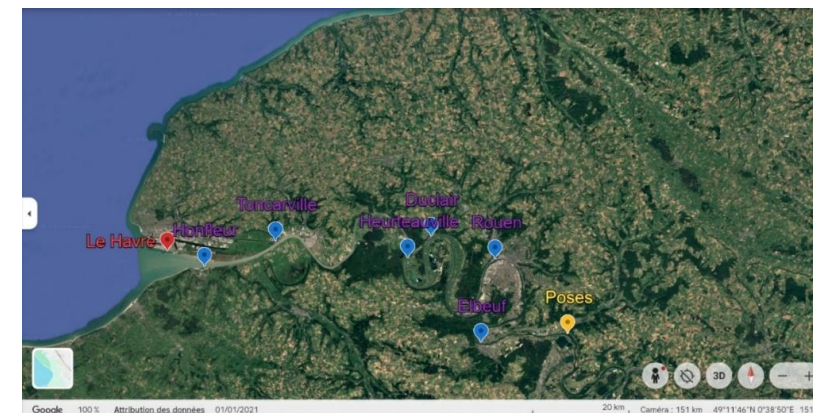
2025-2026

Financement :

GIP Seine-Aval

Labellisation :

Programme Seine-Aval 7



GIP Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC

Projet CERES

<https://www.seine-aval.fr/projet/ceres/>

Coordination scientifique :

Jérémy Rohmer – BRGM

Période :

2025-2026

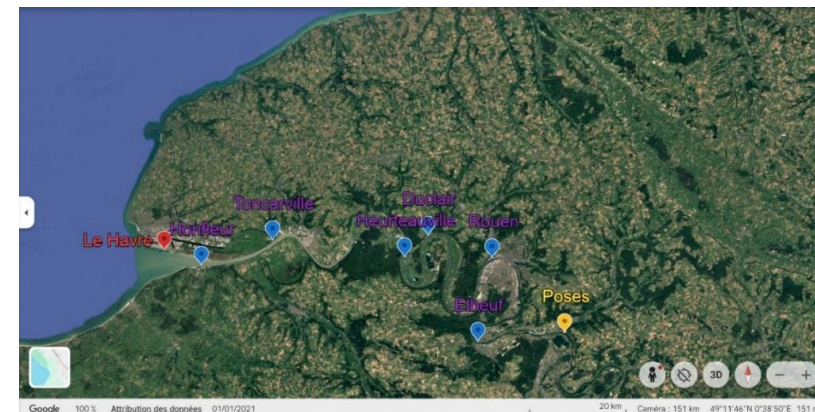
Financement :

GIP Seine-Aval

Labellisation :

Programme Seine-Aval 7

- Progresser dans la **caractérisation des évènements** de débordement.
- Cadre de la **théorie des valeurs extrêmes**
- Analyser **l'influence spatiale et des échelles temporelles**
- **Phase 1 (2025)**
 - Estimer les courbes « **intensité – durée – fréquence** » sur les six ports
- **Phase 2 (2026)**
 - Estimer la **période de retour conjointe** des forçages fluviaux et maritimes
 - **Préparer les éléments** pour une intégration des aspects liés au changement climatique



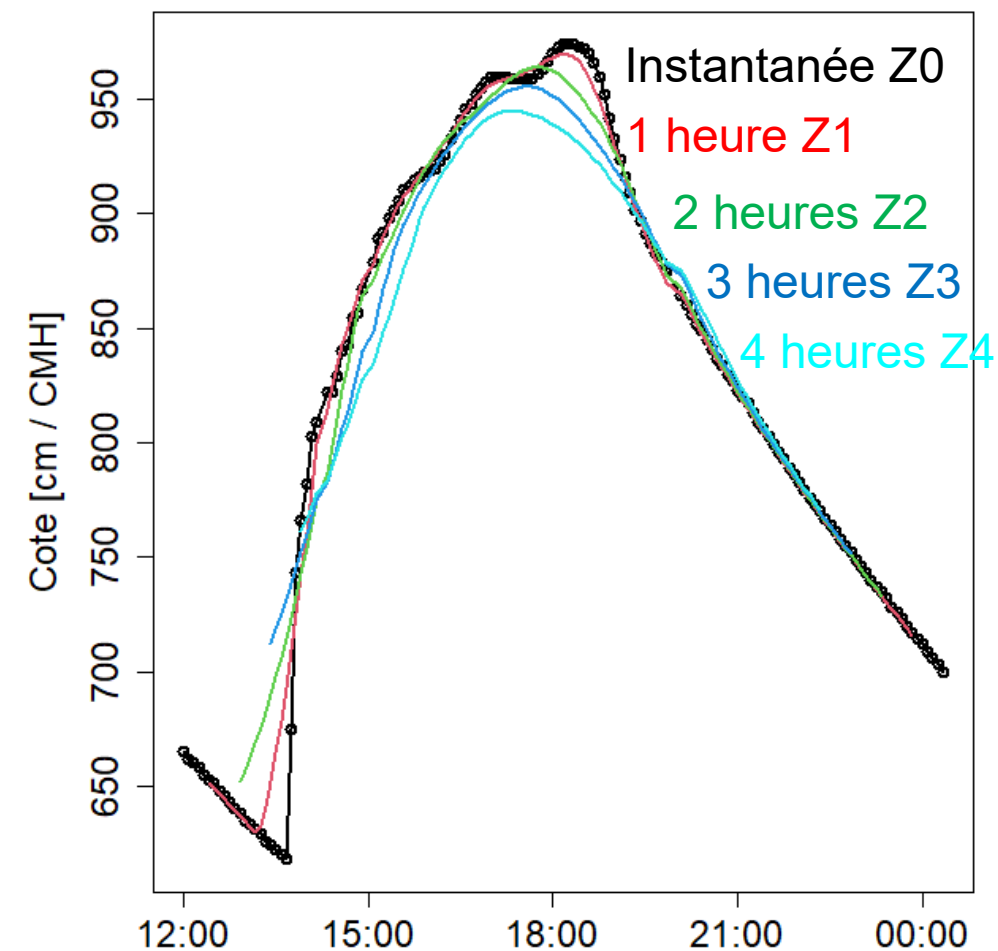
Cette présentation



GIP Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC

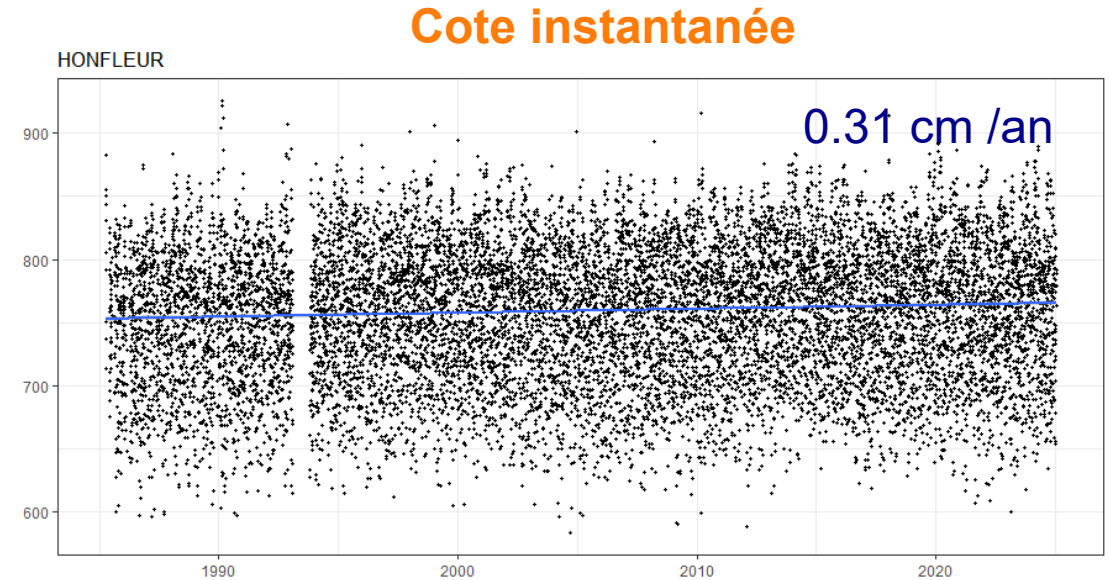
Procédure

- Estimation des **descripteurs selon les durées**



Procédure

- Estimation des **descripteurs selon les durées**
- Traitement pour éliminer les **liens temporels**
 - **Long terme**
 - On retire la **tendance linéaire**
 - On réajuste en additionnant la moyenne (1985 – 2025)



Procédure

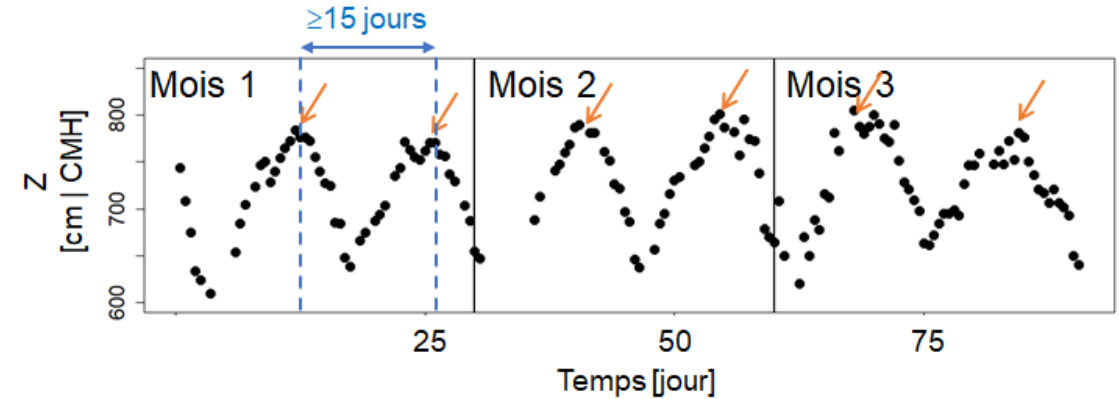
- Estimation des **descripteurs selon les durées**

- Traitement pour éliminer les **liens temporels**

- **Long terme**

- **Indépendance des évènements**

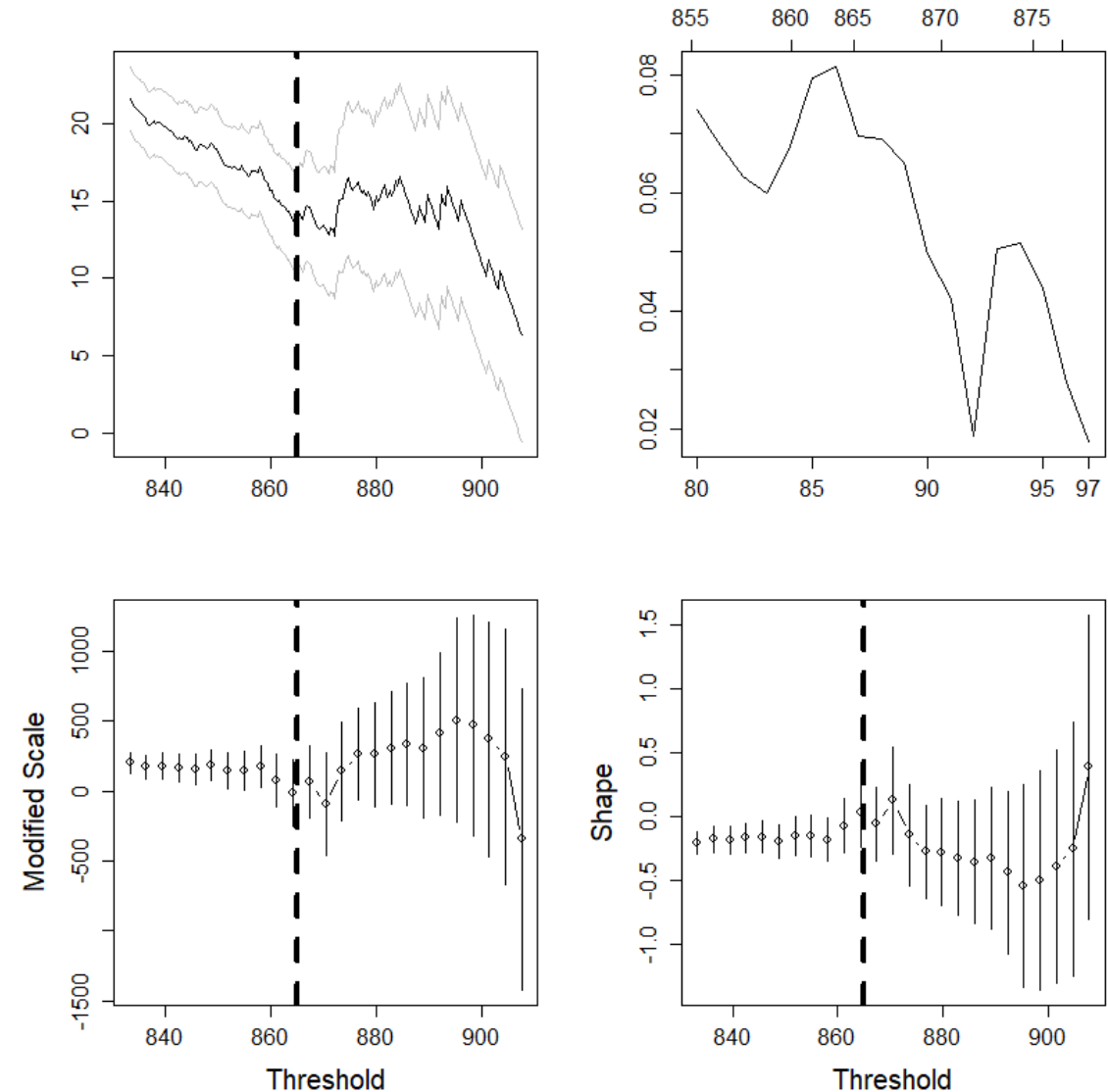
- On impose une durée minimale entre évènements (ici: ~15 jours)
- Cohérent / durée de cycle de marée de vives eaux et mortes eaux



Procédure

- Estimation des **descripteurs selon les durées**
- Traitement pour éliminer les **liens temporels**
 - Long terme
 - Indépendance des évènements
- Ajustement d'une loi adaptée pour modéliser les cas rares (**loi des extrêmes**)
 - Définition d'un évènement extrême
>> choix d'un seuil
 - Combinaison de différents diagnostics

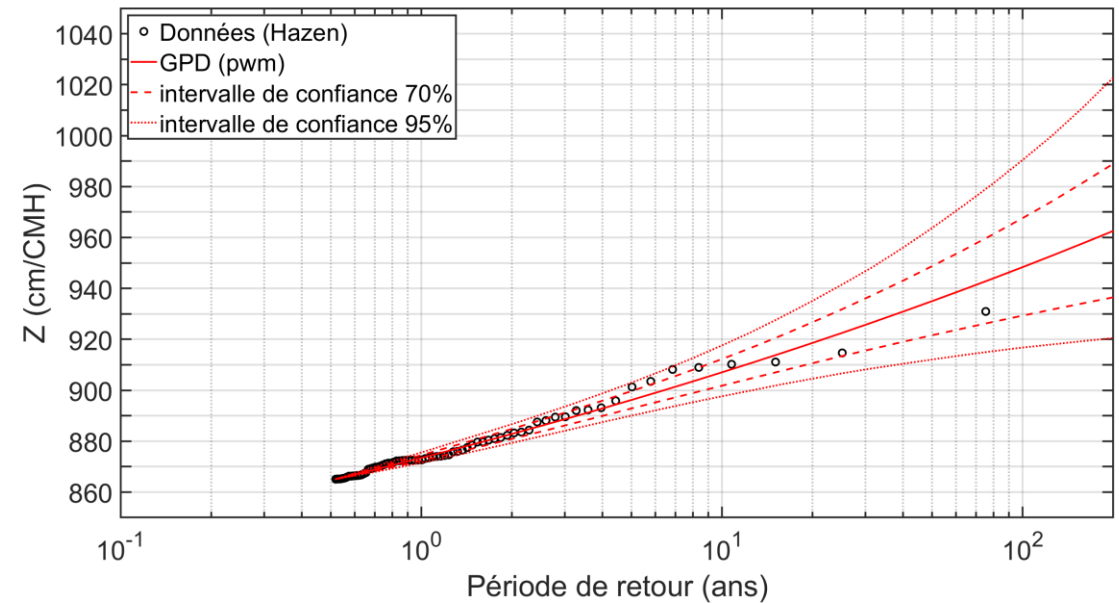
Choix du seuil Honfleur – Z0



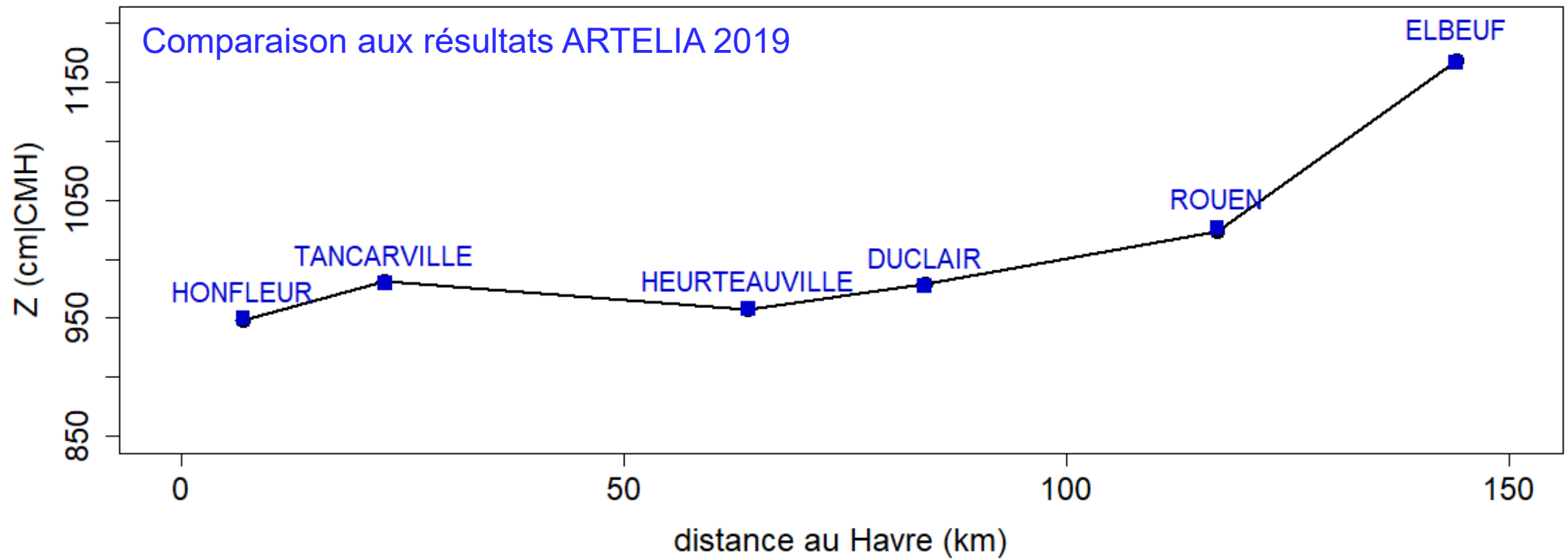
Procédure

- Estimation des **descripteurs selon les durées**
- Traitement pour éliminer les **liens temporels**
 - Long terme
 - Indépendance des évènements
- Ajustement d'une loi adaptée pour modéliser les cas rares (**loi des extrêmes**)
 - Définition d'un évènement extrême
 - >> **choix d'un seuil**
 - Choix de modélisation
 - >> **famille flexible GPD**
 - Generalised Pareto Distribution

Période de retour à Honfleur – Z0

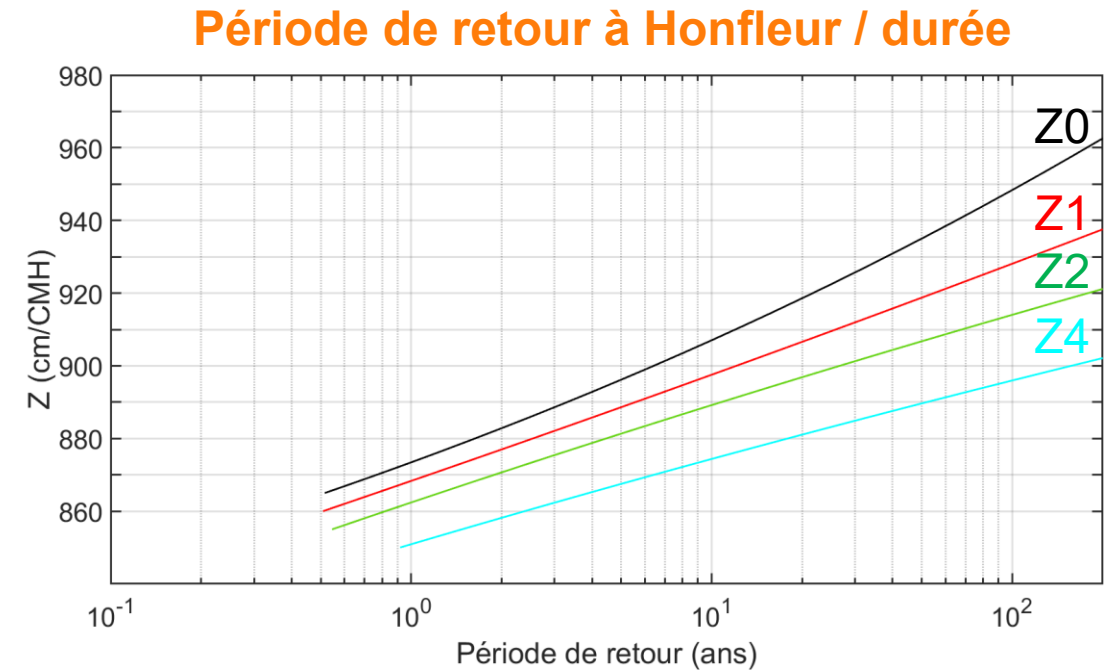


Ligne d'eau pour la période de retour 100 ans

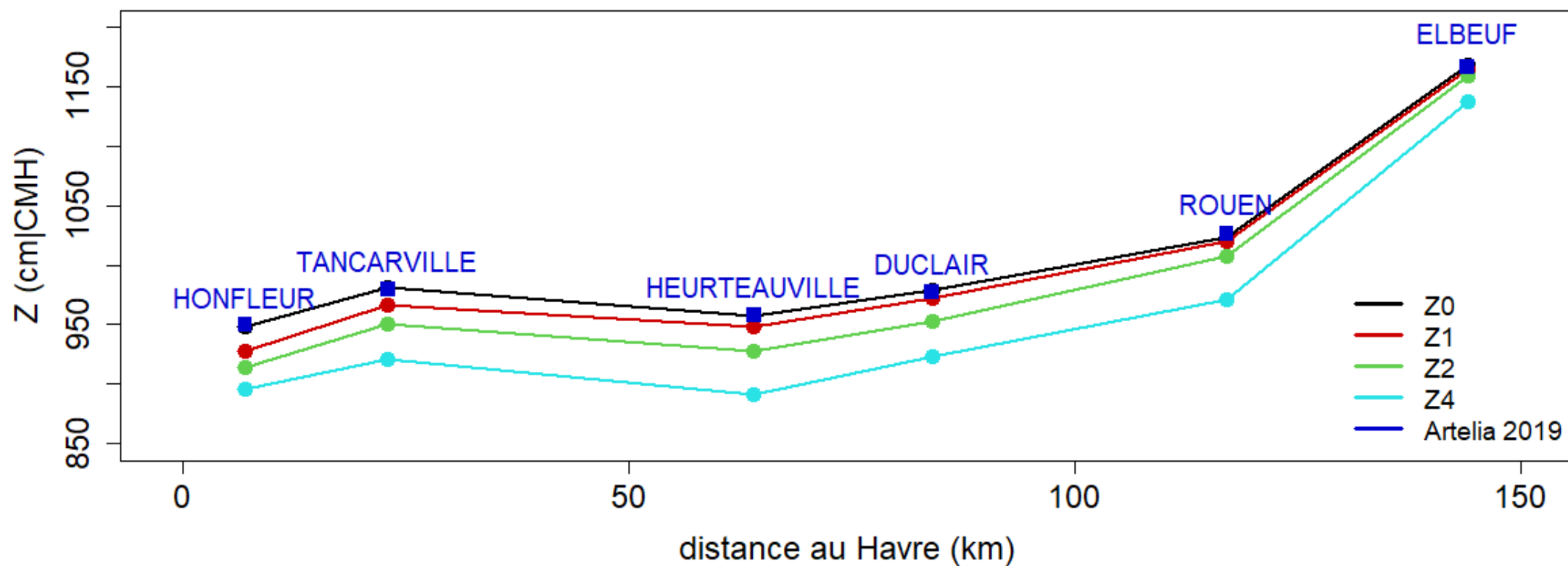


Procédure

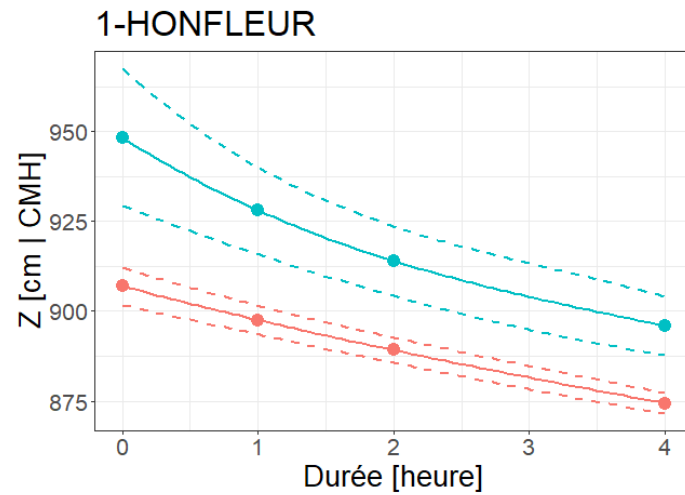
- Estimation des **descripteurs selon les durées**
- Traitement pour éliminer les **liens temporels**
 - Long terme
 - Indépendance des évènements
- Ajustement d'une loi adaptée pour modéliser les cas rares (**loi des extrêmes**)
 - Définition d'un évènement extrême
 - >> **choix d'un seuil**
 - Choix de modélisation
 - >> **famille flexible GPD**



Ligne d'eau (100 ans) avec prise en compte de la durée



“Intensité – Durée – Fréquence”

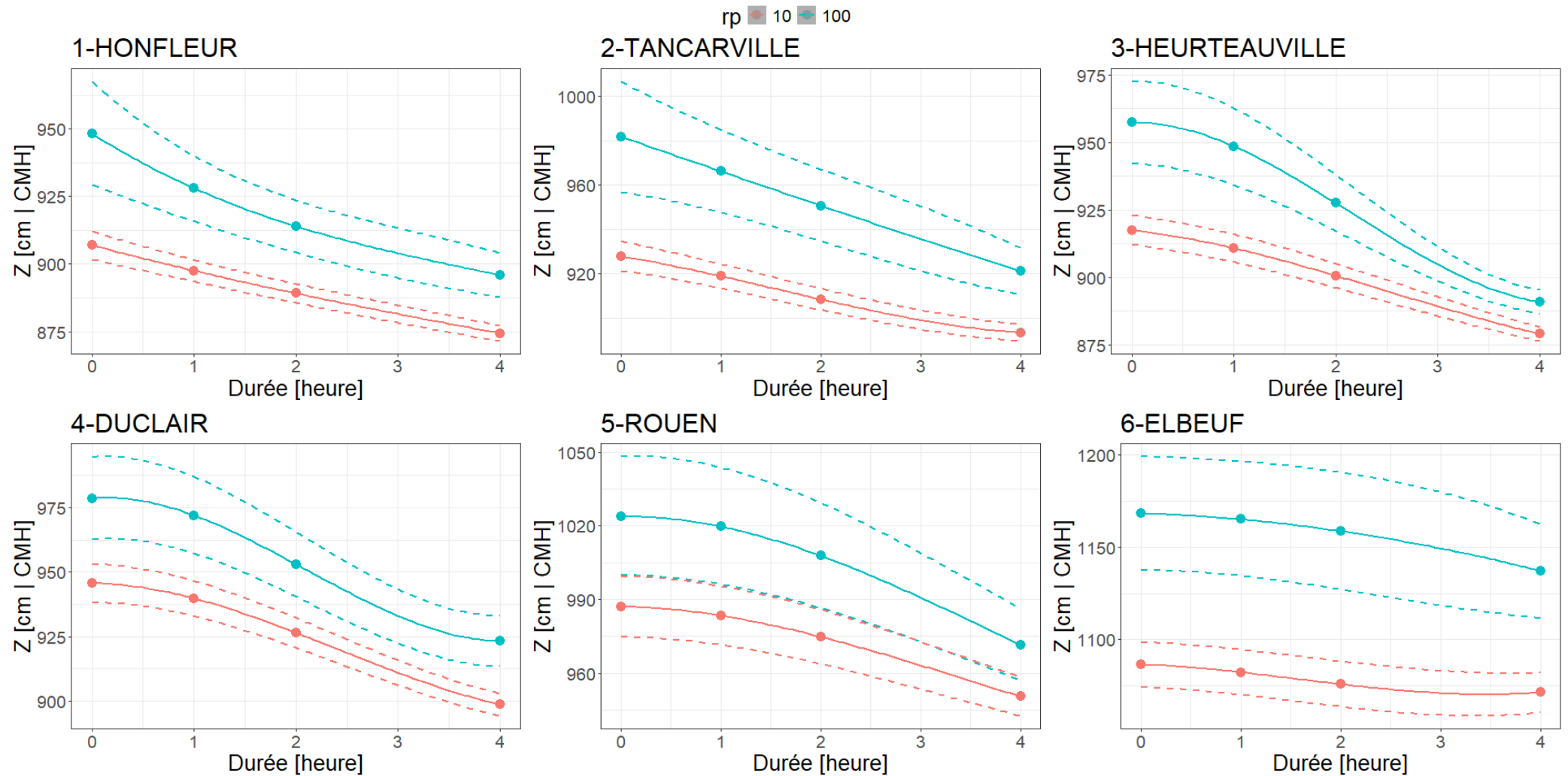


Période de retour = 100 ans

Période de retour = 10 ans



“Intensité – Durée – Fréquence”

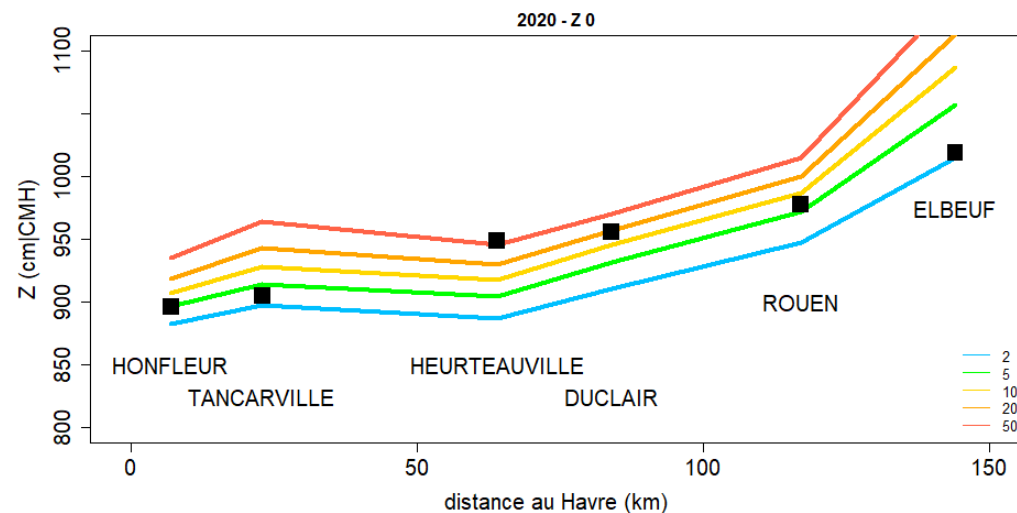


— Interpolation par spline - - - - - Bornes à 70%



Axes y différents

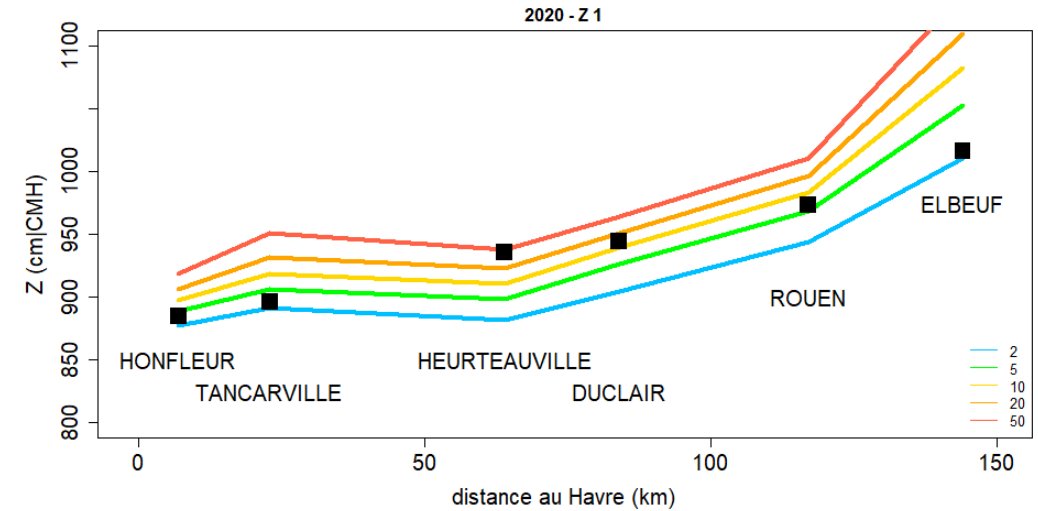
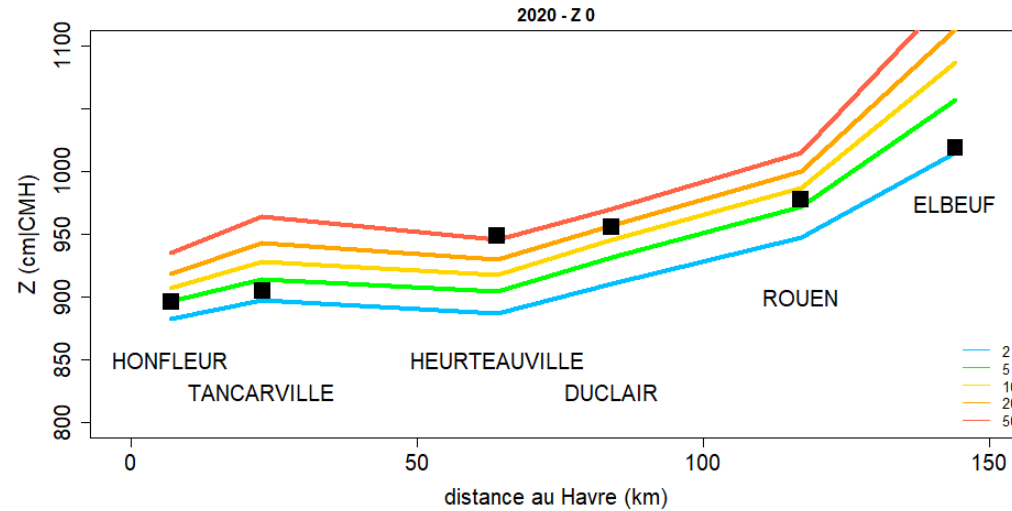
Retour sur l'évènement de Février 2020



Note: les données peuvent différer de qqs cm / rapport DREAL, GIPSA par prise en compte de la tendance linéaire



Retour sur l'évènement de Février 2020

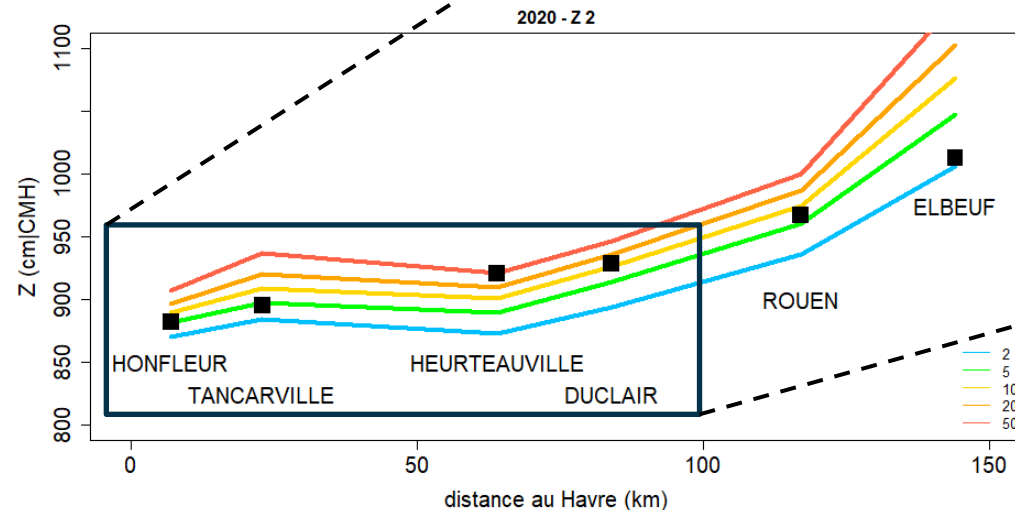
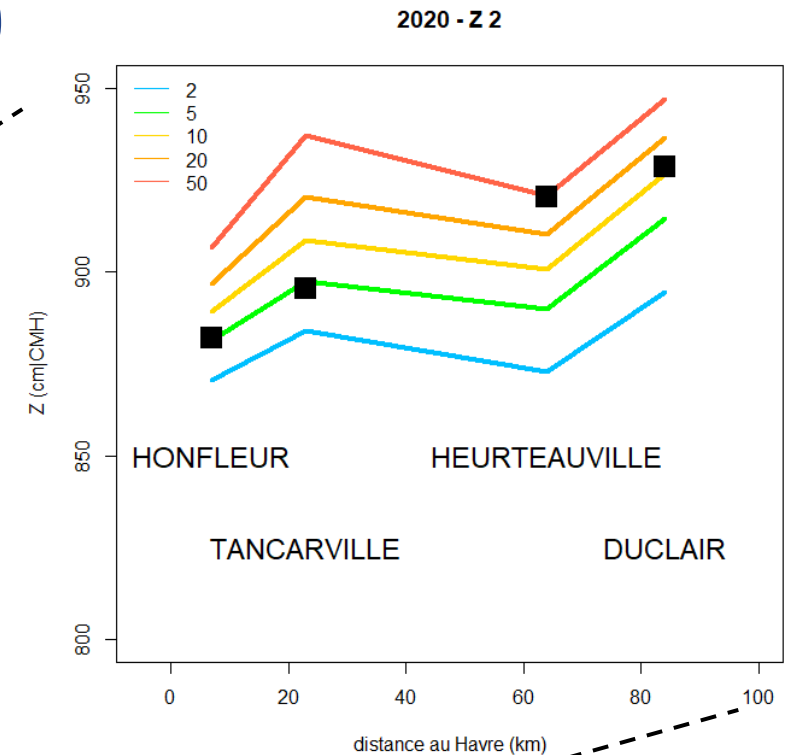
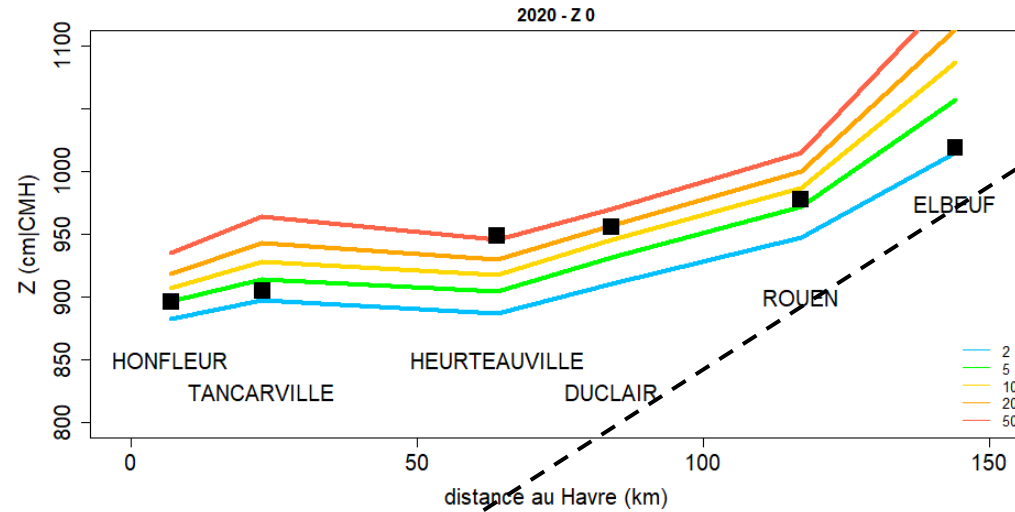


Peu de changement avec une durée de 1 heure

Note: les données peuvent différer de qqs cm / rapport DREAL, GIPSA par prise en compte de la tendance linéaire



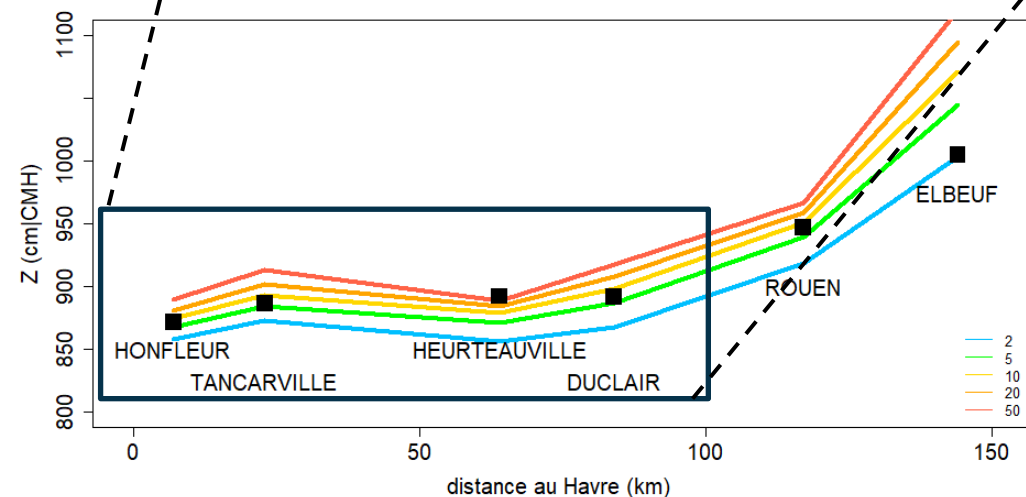
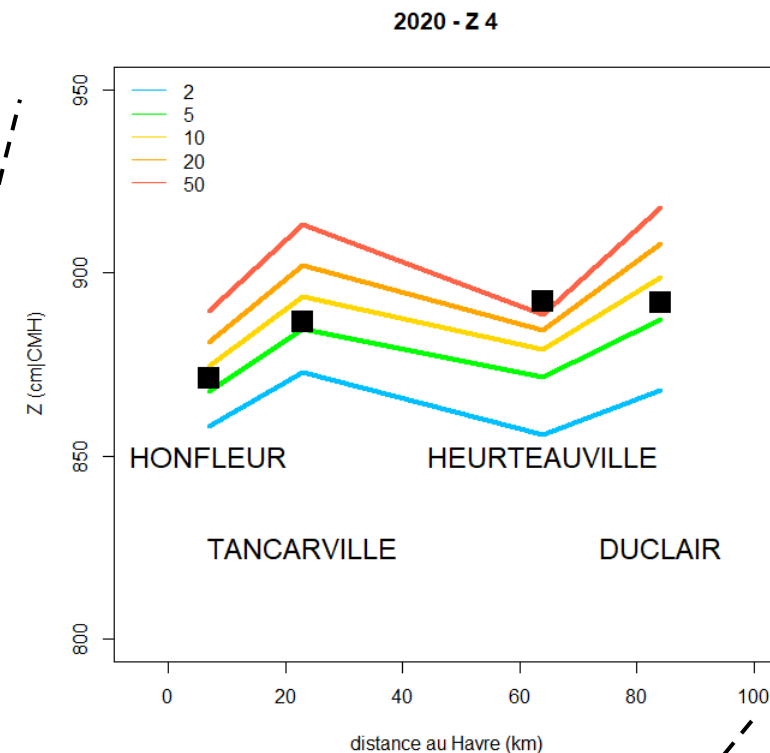
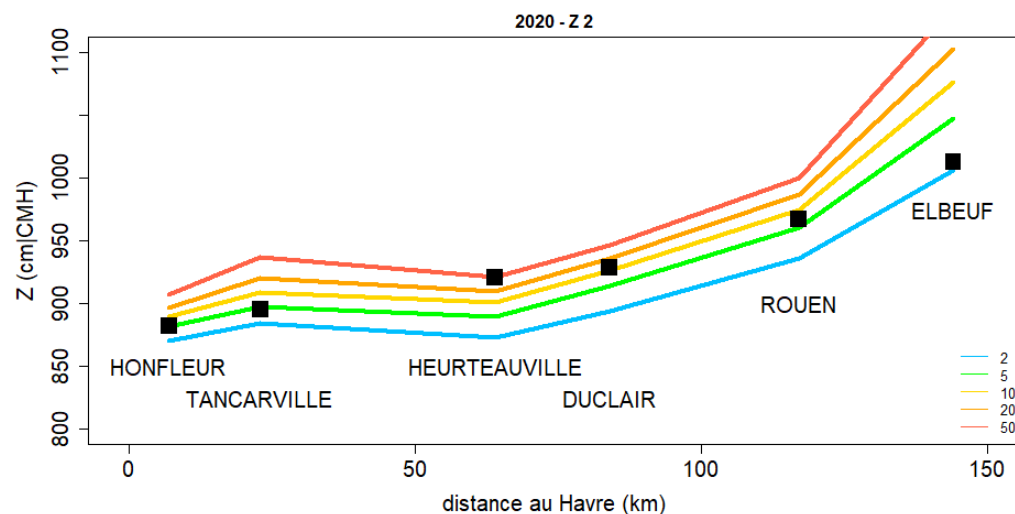
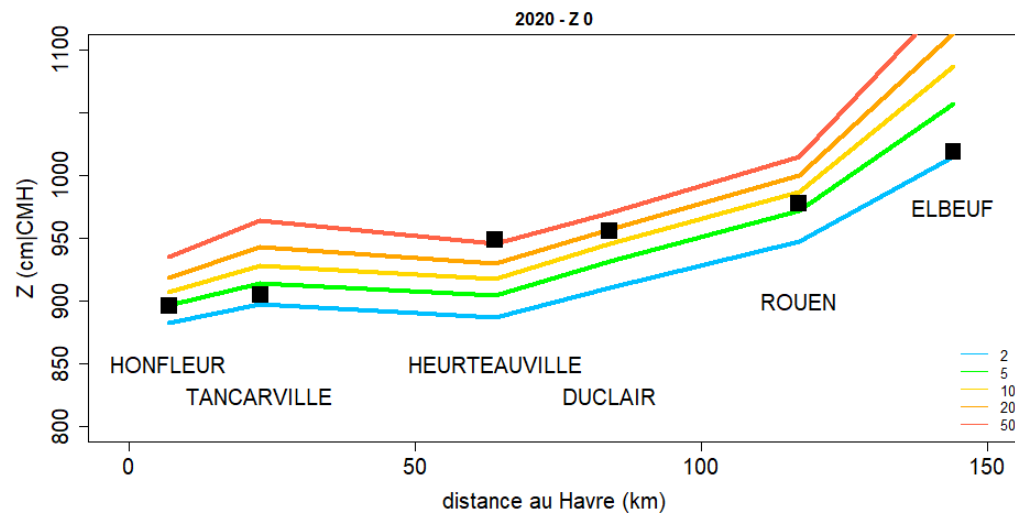
Retour sur l'évènement de Février 2020



- Augmentation à Honfleur, Tancarville
- Baisse à Heurteauville, Duclair
- Faible changement Rouen, Elbeuf



Retour sur l'évènement de Février 2020



Notion de tenue de plein

« Si le calcul [des périodes de retour] avait associé la tenue de plein (équivalent à la durée de la pleine mer dans l'estuaire) on aboutirait sans doute alors à une période de retour plus importante au niveau de ces marégraphes pour cet événement ».

Page 17, Sect. 6, Service de Prévision des Crues Seine Aval Côtiers Normands.
Crues de la Seine de février et mars 2020, Retour d'expérience et analyses, Rapport Sept. 2020



Notion de tenue de plein

« Si le calcul [des périodes de retour] avait associé la tenue de plein (équivalent à la durée de la pleine mer dans l'estuaire) on aboutirait sans doute alors à une période de retour plus importante au niveau de ces marégraphes pour cet événement ».

Page 17, Sect. 6, Service de Prévision des Crues Seine Aval Côtiers Normands.
Crues de la Seine de février et mars 2020, Retour d'expérience et analyses, Rapport Sept. 2020

Quelle est la durée la plus pertinente à Tancarville ?

Définition prise : durée pendant laquelle 95 % de la cote maximale mesurée pendant la PM est dépassée (sur la chronique [2007-2020])

Quartiles	Min	25 %	50 %	75 %	Max
Durée de la tenue de plein	1 h	3,25 h	3,42 h	3,58 h	4,67 h



Durée 4,25 h – tempête
Ines de février 2020



En résumé

- Construction des courbes « **intensité – durée – fréquence** » sur 6 ports le long de la Seine (Honfleur à Elfbeuf).
- Outil pour interroger la pertinence du **descripteur « aléa »** pour l'évaluation du risque inondation.

CERES

Coordination scientifique :

Jérémy Rohmer – BRGM

Période :

2025-2026

Financement :

GIP Seine-Aval

Labellisation :

Programme Seine-Aval 7

<https://www.seine-aval.fr/projet/ceres/>

En résumé

- Construction des courbes « **intensité – durée – fréquence** » sur 6 ports le long de la Seine (Honfleur à Elbeuf).
- Outil pour interroger la pertinence du **descripteur « aléa »** pour l'évaluation du risque inondation.
- **La suite (phase 2 du projet) :**
 - Estimer la **période de retour conjointe** des forçages fluviaux et maritimes
 - **Préparer les éléments** pour une intégration des aspects liés au **changement climatique**

CERES

Coordination scientifique :
Jérémy Rohmer – BRGM

Période :
2025-2026

Financement :
GIP Seine-Aval

Labellisation :
Programme Seine-Aval 7

<https://www.seine-aval.fr/projet/ceres/>

Merci pour votre attention !

Merci à Stéphane Piney (DREAL Normandie), Matthieu Olivier (GIPSA), Nicolas Bacq (GIPSA), Benjamin Renard (INRAE) pour les discussions très utiles!