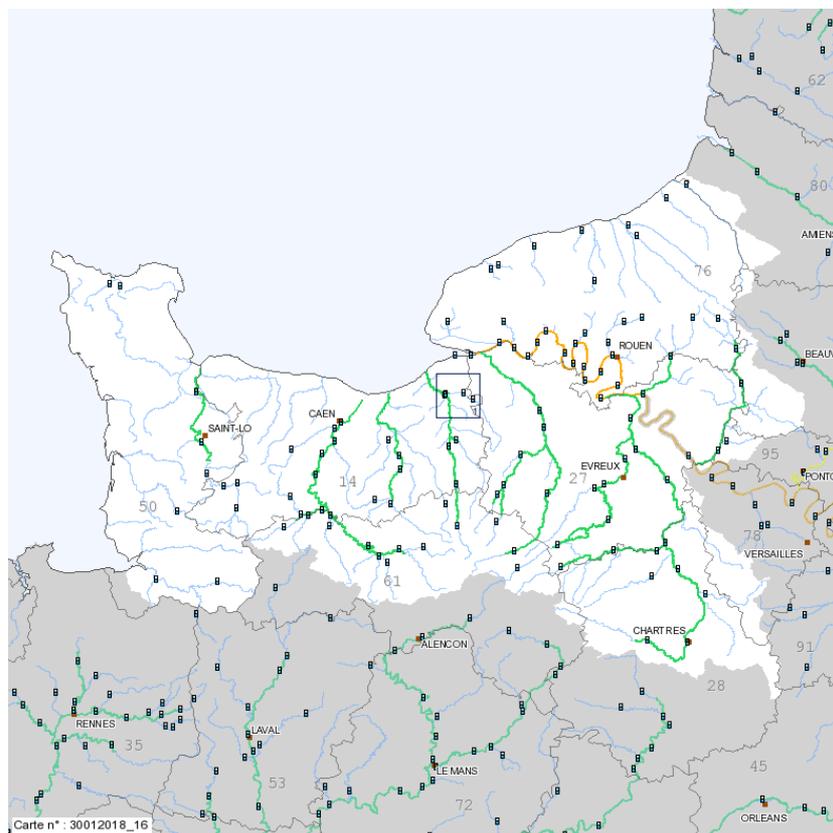


DREAL NORMANDIE**Service de prévision des crues Seine aval et côtiers normands****Retour d'expériences simplifié
des événements du 31/12/2017 au 23/02/2018 sur le tronçon Seine aval**

Carte de vigilance du territoire du SPC SACN du mardi 30 janvier 2018 à 16h

Introduction : objet et périmètre de ce premier retour d'expérience.....	2
1.- L'instrumentation du tronçon Seine aval et les marégraphes de référence.....	2
2.- Éléments de forçage et aperçu général de la période du 31/12/2017 au 23/02/2018.....	3
3.- La vigilance crues.....	5
3.1.- Du 31 décembre 2017 au 5 janvier 2018.....	6
3.2.- Du 6 au 28 janvier 2018.....	6
3.3.- Du 29 janvier au 5 février 2018.....	7
3.4.- Du 5 au 23 février 2018.....	7
4.- Typologie des phénomènes d'inondations constatés.....	8
4.1.- Cotes de pleine mer atteintes lors des épisodes de juin 2016, début janvier 2018, et janvier/février 2018, et proposition de sectorisation.....	8
4.2.- Une typologie de la dynamique des débordements propre à chaque secteur.....	10

En matière de débits d'entrée, la dernière valeur disponible sur la Seine est celle de Vernon (station débitmétrique de la DRIEE Ile-de-France), située à l'aval des apports de l'Epte. La station de mesure de Louviers sur l'Eure permet de disposer de données de débits sur l'Eure avant sa confluence avec la Seine à Pont-de-l'Arche. Mise à part les apports de l'Eure, les autres affluents de la Seine sur sa partie estuarienne¹ apportent des débits négligeables au regard des volumes échangés sur le tronçon Seine aval.

L'ensemble de ces données (cotes aux marégraphes, et hauteurs et débits aux stations de Vernon (Seine) et Louviers (Eure)) sont en ligne sur le site Vigicrues (www.vigicrues.gouv.fr). Dès le passage en vigilance « jaune » du tronçon, des prévisions chiffrées (assorties d'une incertitude) des cotes attendues aux 16 marégraphes pour les 3 à 4 prochaines pleines mers sont publiées (échéance de 48h).

Sur le tronçon Seine aval, 5 marégraphes conditionnent les passages de vigilance : Elbeuf, Rouen, La Bouille, Duclair et Caudebec. Comme on le verra, il n'y a pas de relation univoque entre eux : par exemple, le tronçon Seine aval pourra être placé en vigilance en raison de débordements attendus dans les prochaines 24h sur l'amont du tronçon (marégraphe d'Elbeuf) alors qu'aucun débordement n'est attendu à Rouen et à l'aval.

2.- Éléments de forçage et aperçu général de la période du 31/12/2017 au 23/02/2018

Les cotes de pleine mer observées dans l'estuaire de Poses à Tancarville sont la résultante de 3 facteurs :

- les débits de la Seine et de l'Eure ;
- l'ampleur de la marée, traduite par les coefficients de marée ;
- les phénomènes météorologiques à l'embouchure, liées notamment aux situations de tempêtes : surcotes marines pouvant avoir lieu pendant la pleine mer, et vent de secteur ouest.

Pour toute la période du 31/12/2017 au 22/02/2018, le graphique ci-après permet d'appréhender le poids respectif de ces différents forçages sur les cotes de pleine mer atteintes aux 5 marégraphes, et les niveaux de vigilance du tronçon Seine aval sur l'ensemble de cette période.

Les 55 jours de vigilance sont en premier lieu l'effet d'un débit de Seine élevé, du fait d'épisodes successifs de précipitations soutenues sur le bassin versant de la Seine. On a d'abord observé une première pointe du débit à Vernon, de l'ordre de 1600 m³/s entre le 10 et le 13 janvier, puis une seconde pointe de l'ordre de 2100 m³/s entre le 27 janvier et le 6 février (10 jours).

Au débit élevé s'ajoute l'effet des fortes marées. Les coefficients de marée ont dépassé 100 entre le 2 et le 5 janvier, puis entre le 31 janvier et le 4 février.

Enfin, l'effet de la surcote météorologique et d'un vent de secteur ouest se manifeste à travers les pleines mers « discontinues » observées sur les marégraphes aval. On reconnaît en particulier l'effet de la tempête Eleanor les 3 et 4 janvier, mais aussi l'épisode tempétueux du 20 janvier 2018.

¹ Andelle, Robec, Cailly, Austreberthe, Commerce et Lézarde, pour ne citer que les plus importants.

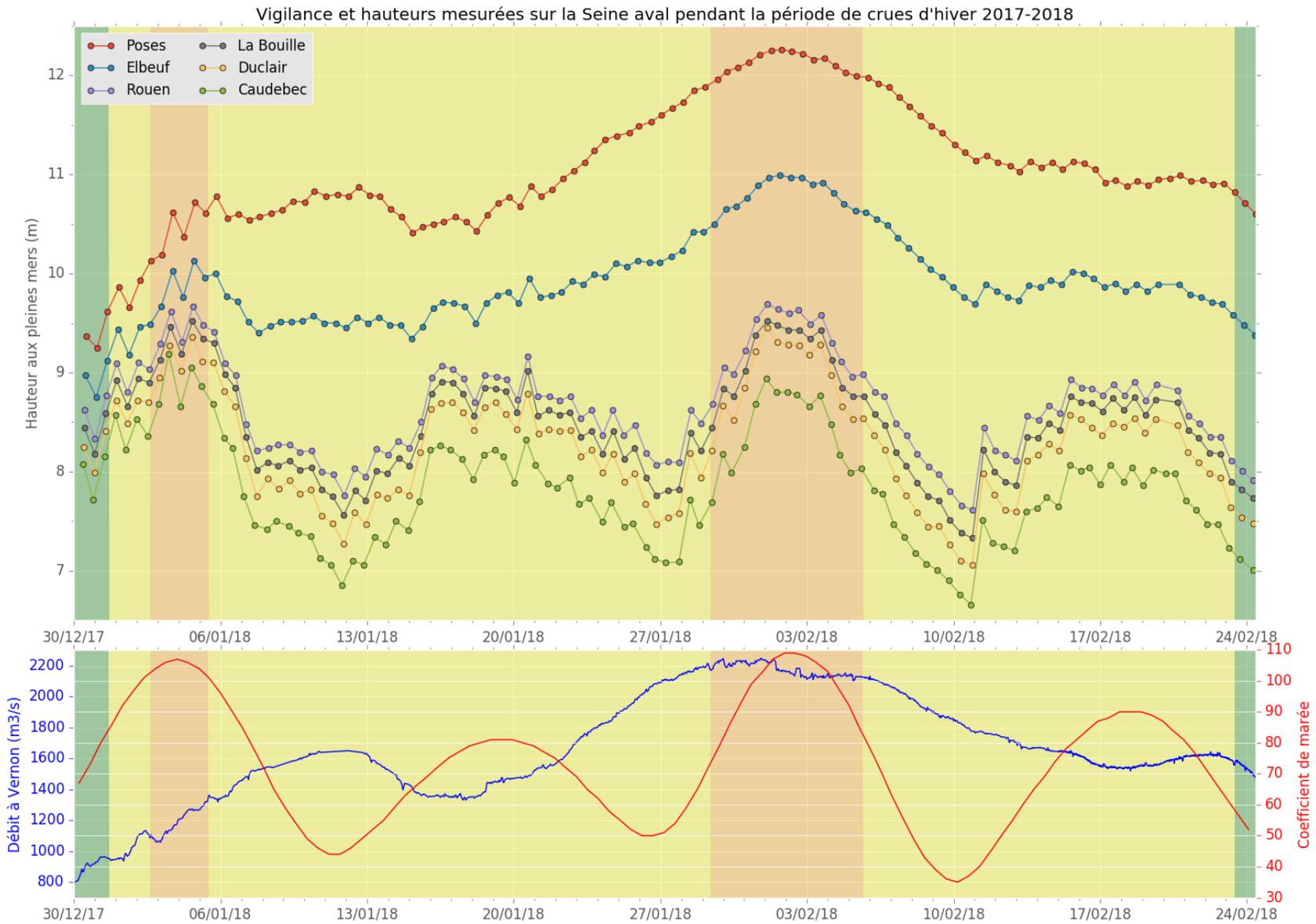


Illustration 2 : niveaux de vigilance et cotes marines de pleine mers (m CMH) aux cinq marégraphes de référence et à celui de Poses, débit de la Seine à Vernon et coefficients de marée sur la période du 30/12/2017 au 24/02/2018

La conjonction de ces 3 facteurs permet ainsi de distinguer quatre périodes homogènes :

a) du 31 décembre 2017 au 5 janvier 2018

Passage en vigilance « jaune » puis « orange » sous l'effet cumulé des fortes marées et de la tempête. Seule la partie aval du tronçon (à l'aval du marégraphe de Rouen inclus, et plus encore à l'aval du marégraphe de Caudebec) est concerné par des débordements significatifs justifiant le niveau de vigilance « orange ».

b) du 6 au 28 janvier 2018

Les coefficients de marée présentent des valeurs plus faibles pendant les périodes de déchet et de revif qui se succèdent, alors qu'un débit élevé de la Seine se maintient, avant d'augmenter de nouveau. Ainsi, même en période de mortes-eaux, les cotes de pleines mers attendues et observées au marégraphe d'Elbeuf et sur la partie amont du tronçon ont justifié un niveau de vigilance « jaune » (cf. débordements constatés).

c) du 29 janvier au 5 février 2018

Passage en vigilance « orange » sous l'effet cumulé du fort débit de la Seine et des fortes marées. Débordements significatifs sur la partie amont du tronçon (amont du marégraphe de Oissel), et comparables à ceux observés du 31/12 au 5/01/2018 sur la partie intermédiaire du tronçon de Rouen à Caudebec.

d) du 6 au 23 février 2018

Passage en vigilance « jaune » sous l'effet de la diminution du débit de la Seine et de plus faibles coefficients de marée même lors de la période de revif suivante. Retour progressif à la normale.

3.- La vigilance crues

Le tableau suivant indique les périodes durant lesquelles les couleurs de vigilance crues « jaune » ou « orange » ont été affectées sur le tronçon Seine aval :

31/12/2017 à 10h	31/12/2017 à 16h	2/01/2018 à 16h	5/01/18 à 10h	29/01/18 à 10h	5/02/18 à 16h	23/02/18 à 10h
vert	jaune	orange	jaune	orange	jaune	vert

Tableau 1 : chronogramme Vigicrues sur la période du 31/12/2017 au 23/02/2018

Compte tenu d'un maintien en vigilance « jaune » sur la période du 31/12/2017 au 22/02/2018, nous ne traiterons de la question de l'anticipation des passages de vigilance que lors du premier passage de vigilance « jaune » (31/12/2017 carte de 16h), et lors des deux passages en vigilance « orange » des 2/01/2018 à 16h et 29/01/2018 à 10h.

3.1.- Du 31 décembre 2017 au 5 janvier 2018

Les cotes mesurées aux pleines mers aux 5 marégraphes de vigilance sont les suivantes (en couleur, les niveaux de vigilance associés) :

Pleine mer	Elbeuf	Rouen	La Bouille	Duclair	Caudebec
1 ^{er} /01 nuit	9,44	9,09	8,92	8,72	8,57
1/01 ap-midi	9,18	8,8	8,66	8,49	8,22
2/01 nuit	9,46	9,1	8,94	8,72	8,53
2/01 ap-midi	9,49	9,03	8,9	8,7	8,36
3/01 nuit	9,67	9,29	9,13	8,95	8,68
3/01 ap-midi	10,03	9,62	9,46	9,27	9,19
4/01 nuit	9,76	9,31	9,19	9,02	8,66
4/01 ap-midi	10,13	9,67	9,52	9,36	9,05
5/01 nuit	9,96	9,48	9,34	9,11	8,86

Tableau 2 : cotes (m CMH) observées aux cinq marégraphes de référence

Le bilan en matière de vigilance et d'anticipation a été le suivant :

Dates des passages en vigilance « jaune » puis « orange » du tronçon		Marégraphe	Anticipation en nombre de marées
31/12/18 à 16h	2/01/18 à 16h	Elbeuf	5 marées
			Non avéré
31/12/18 à 16h	2/01/18 à 16h	Rouen	5 marées
			2 marées
31/12/18 à 16h	2/01/18 à 16h	La Bouille	1 marée
			2 marées
31/12/18 à 16h	2/01/18 à 16h	Duclair	5 marées
			Pas de niveau de vigilance orange défini à ce marégraphe
31/12/18 à 16h	2/01/18 à 16h	Caudebec	5 marées
			Pas de niveau de vigilance orange défini à ce marégraphe

Tableau 3 : bilan de la vigilance « crues » et en matière d'anticipation

3.2.- Du 6 au 28 janvier 2018

Sur cette période « intermédiaire », mise à part les cotes de pleine mer observées au marégraphe de la Bouille (les 16/01 après-midi, 17/01 la nuit, et le 20/01 après-midi), seules les cotes observées au marégraphe d'Elbeuf ont justifié un niveau de vigilance « jaune » sur le tronçon. C'est sur cette seule zone amont (du barrage de Poses au marégraphe de Oissel) que des débordements ont été constatés ; débordements qui ne justifiaient pas un niveau de vigilance supérieur.

3.3.- Du 29 janvier au 5 février 2018

Les cotes mesurées aux pleines mers aux 5 marégraphes de vigilance sont les suivantes (en couleur, les niveaux de vigilance associés) :

Pleine mer	Elbeuf	Rouen	La Bouille	Duclair	Caudebec
29/01 journée	10,5	8,68	8,44	8,21	7,69
30/01 nuit	10,65	9,05	8,84	8,67	8,18
30/01 journée	10,68	8,98	8,76	8,52	7,99
31/01 nuit	10,76	9,22	9,02	8,85	8,25
31/01 journée	10,89	9,54	9,38	9,21	8,68
1 ^{er} /02 nuit	10,97	9,69	9,52	9,45	8,94
1 ^{er} /02 journée	10,99	9,64	9,48	9,31	8,8
2/02 nuit	10,97	9,6	9,43	9,28	8,8
2/02 journée	10,97	9,63	9,43	9,27	8,78
3/02 nuit	10,9	9,49	9,34	9,18	8,66
3/02 journée	10,92	9,58	9,43	9,28	8,77
4/02 nuit	10,81	9,3	9,13	8,97	8,48
4/02 journée	10,7	9,11	8,85	8,66	8,17
5/02 nuit	10,63	8,96	8,76	8,53	7,99
5/02 journée	10,62	8,98	8,76	8,54	8,03

Tableau 4 : cotes (m CMH) observées aux cinq marégraphes de référence

Le bilan en matière de vigilance et d'anticipation a été le suivant :

Dates des passages en vigilance « jaune » puis « orange » du tronçon		Marégraphe	Anticipation en nombre de marées
Tronçon déjà en « jaune »	29/01/18 à 10h	Elbeuf	déjà en jaune
			3 marées
		Rouen	déjà en jaune
			5 marées
		La Bouille	déjà en jaune
			5 marées
		Duclair	déjà en jaune
			Pas de niveau de vigilance orange défini à ce marégraphe
		Caudebec	/
			Pas de niveau de vigilance orange défini à ce marégraphe

Tableau 5 : bilan de la vigilance « crues » et en matière d'anticipation

3.4.- Du 5 au 23 février 2018

Le niveau de vigilance « jaune » maintenu jusqu'au 22 février en raison des débordements attendus et observés sur la partie amont du tronçon du barrage de Poses au marégraphe de Oissel (marégraphe de référence d'Elbeuf).

4.- Typologie des phénomènes d'inondations constatés

4.1.- Cotes de pleine mer atteintes lors des épisodes de juin 2016, début janvier 2018, et janvier/février 2018, et proposition de sectorisation

En vue de caractériser les 3 événements de juin 2016, début janvier 2018 et janvier/février 2018, nous faisons figurer ci-dessous les cotes de pleine mer observées aux marégraphes d'Elbeuf, Oissel, Rouen, Heurteauville et Tancarville, caractéristiques de comportements distincts.

Marégraphe	z (m, CMH) (Cote Marine du Havre)		
	Plus forte cote de PM observée du 4 au 7/06/2016	Plus forte cote de PM observée du 31/12/2017 au 5/01/2018	Plus forte cote de PM observée du 29/01 au 5/02/2018
Elbeuf	10,67 m (le 6/06 à 4h45)	10,13 m (le 4/01 à 17h35)	10,99 (le 1er/02 à 16h35)
Oissel	9,84 m (le 6/06 à 3h20)	9,72 m (le 4/01 à 17h)	10,07 m (le 1 ^{er} /02 à 3h30)
Rouen	9,39 m (le 6/06 à 2h20)	9,67 m (le 4/01 à 16h25)	9,69 (le 1er/02 à 2h45)
Heurteauville	8,69 m (le 6/06 à 1h20)	9,13 m (le 4/01 à 15h10)	9,10 (le 1 ^{er} /02 à 1h20)
Tancarville	8,45 m (le 5/06 à 22h05)	9,36 m (le 3/01 à 12h)	8,65 (le 1 ^{er} /02 à 0h10)

Tableau 6 : cotes de PM observées aux marégraphes d'Elbeuf, Oissel, Rouen, Heurteauville et Tancarville pour les événements de juin 2016, début janvier 2018, et janvier/février 2018

Le graphique ci-dessous présente les profils en long des cotes marines maximales observées lors de ces 3 événements, ainsi que le profil en long des cotes marines associées à une période de retour $T = 10$ ans, issu² de l'étude menée par ARTELIA Eau & Environnement en 2013 pour le compte du GIP SA (Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval) : Définition de scénarios de modélisations des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire, Objectif A, Artelia, juillet 2013.

² Les cotes marines associées à $T=10$ ans ont été établies aux marégraphes d'Elbeuf, Rouen, Heurteauville, Tancarville, et la balise A. Les valeurs associées aux autres marégraphes ont été interpolées entre.

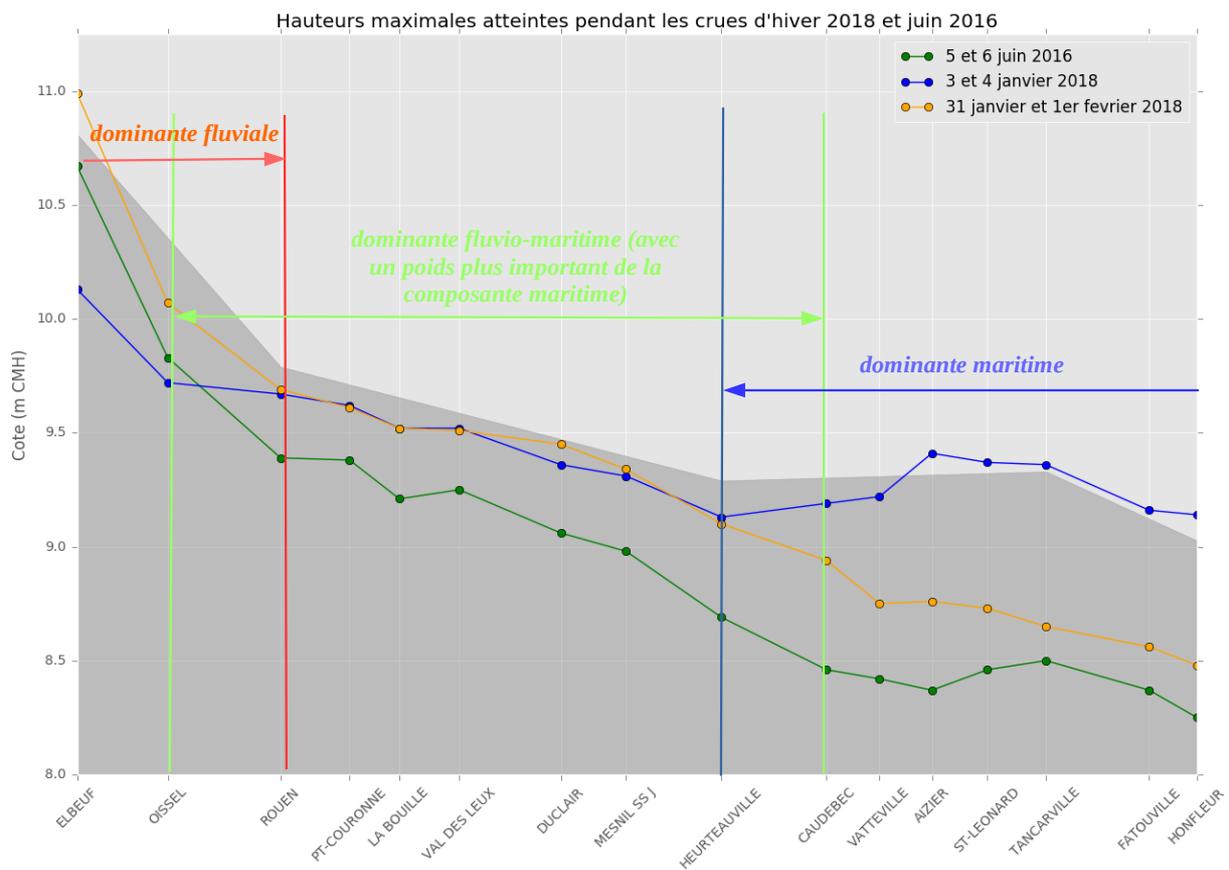


Illustration 3 : profil en long des pleines mers (PM) des événements de juin 2016, début janvier 2018, et fin janvier/début février 2018, et en « grisé » celui correspondant à T = 10 ans (données GIP SA)

Ce graphique permet de distinguer les 3 secteurs suivants :

- un secteur à dominante fluviale du barrage de Poses au marégraphe de Oissel pour le lequel le débit du fleuve est déterminant dans les cotes de pleines mers atteintes : de forts coefficients de marée associés à une situation tempétueuse ne suffit pas à générer des débordements significatifs (cf. situation des 3 et 4 janvier 2018) ;
- un secteur à dominante fluvio-maritime du marégraphe de Oissel à celui de Caudebec , avec une composante maritime d'un poids plus important : un événement tel celui de juin 2016 de type crue de la Seine ($Q_{\text{seine}} \approx 2050 \text{ m}^3/\text{s}$) sans forçage maritime « important » (coefficient de marée 103 mais avec une situation météorologique « favorable » (absence de surcote)) génère des débordements limités sur le secteur concerné ;
- un dernier secteur à dominante maritime à l'aval de Caudebec pour lequel le débit du fleuve est très peu déterminant : c'est le forçage maritime qui s'avère déterminant (cf. événement des 3 et 4 janvier 2018, pour lequel les cotes de pleine mer observées le 3/01 (Eléonor, surcotes marines significatives) ont été plus fortes que celles observées le lendemain 4/01, alors que le coefficient de marée et le débit du fleuve étaient supérieurs).

4.2.- Une typologie de la dynamique des débordements propre à chaque secteur

L'ensemble du tronçon Seine aval est sous influence maritime, et on va donc observer au droit de l'ensemble des marégraphes, quelle que soit la situation, un marnage avec deux pleines mers quotidiennes séparées d'environ 12h. Pour autant, sous l'effet d'une crue de la Seine, ce marnage se réduit en particulier sur la partie amont du tronçon.

Q (m ³ /s)	Coeff. de marée	Duclair	Rouen	Elbeuf	Poses
250	40	2,40 m	2,40 m	1,57 m	1,40 m
	70	3,05 m	3 m	2,17 m	1,93 m
	90	3,45 m	3,40 m	2,40 m	2,30 m
	110	3,75 m	3,50 m	2,60 m	2,50 m

Date	Q (m ³ /s)	Coeff. de marée	Surcote (m)	Duclair	Rouen	Oissel	Elbeuf	Poses
4 janvier 2018	1200	106	≈ 0,50 m	3,89 m	3,43 m	2,33 m	1,54 m	1,04 m
6 juin 2016	2050	103	< 0,05 m	3,32 m	2,50 m	1,26 m	0,55 m	0,24 m
1er février 2018	2150	109	≈ 0,30 m	3,35 m	2,50 m	1,13 m	0,42 m	0,15 m

Tableau 7 : marnage pour un débit de Seine $Q_{\text{seine}} \approx 250 \text{ m}^3/\text{s}$ et pour différents coefficients de marée, et pour les événements de juin 2016, début janvier 2018, et janvier/février 2018

Ce marnage, très faible en situation de crue sur la partie amont du tronçon Seine aval (du barrage de Poses jusqu'à la boucle d'Elbeuf incluse), conduit à une dynamique distincte des débordements et en conséquence à une gestion opérationnelle potentiellement différenciée. Nous pouvons la synthétiser de la façon suivante :

En aval du marégraphe de Oissel	En amont du marégraphe de Oissel
<ul style="list-style-type: none"> - un marnage qui reste important « quel que soit » le débit de la Seine (> 2 m à Rouen, > 1 m à Oissel en juin 2016 et fin janvier/début février 2018) ; - la durée de la pleine mer (« la tenue de plein ») et la topographie berge/murette conditionnent les volumes débordants ; - une durée « faible » et « maîtrisée » en matière d'horaires des débordements ; - une problématique spécifique : celle du ressuyage à chaque basse mer, en vue d'éviter un cumul des volumes débordants aux pleines mers successives. Des zones basses (en pied de coteau) qui peuvent rester longtemps en eau en fonction de cette capacité de ressuyage. 	<ul style="list-style-type: none"> - un marnage faible en situation de crue de la Seine (la seule qui génère des débordements « significatifs » sur ce secteur) quel que soit le forçage maritime (de l'ordre de 0,40 à 0,60 m à Elbeuf, inférieur à Poses et en amont) ; - une inondation qui dure : on ne peut pas compter sur le marnage 2 fois par jour pour ressuyer les zones inondées ; - la baisse des niveaux est conditionnée par la baisse des coefficients de marée (une situation de vive eau qui dure de l'ordre de 5 à 7 j.) et/ou une baisse du débit de la Seine (décrué parfois lente avec un maximum de débit qui dure (cf. fin janvier/début février 2018)) ; - une situation qui s'apparente en conséquence davantage à une crue classique hors estuaire.

