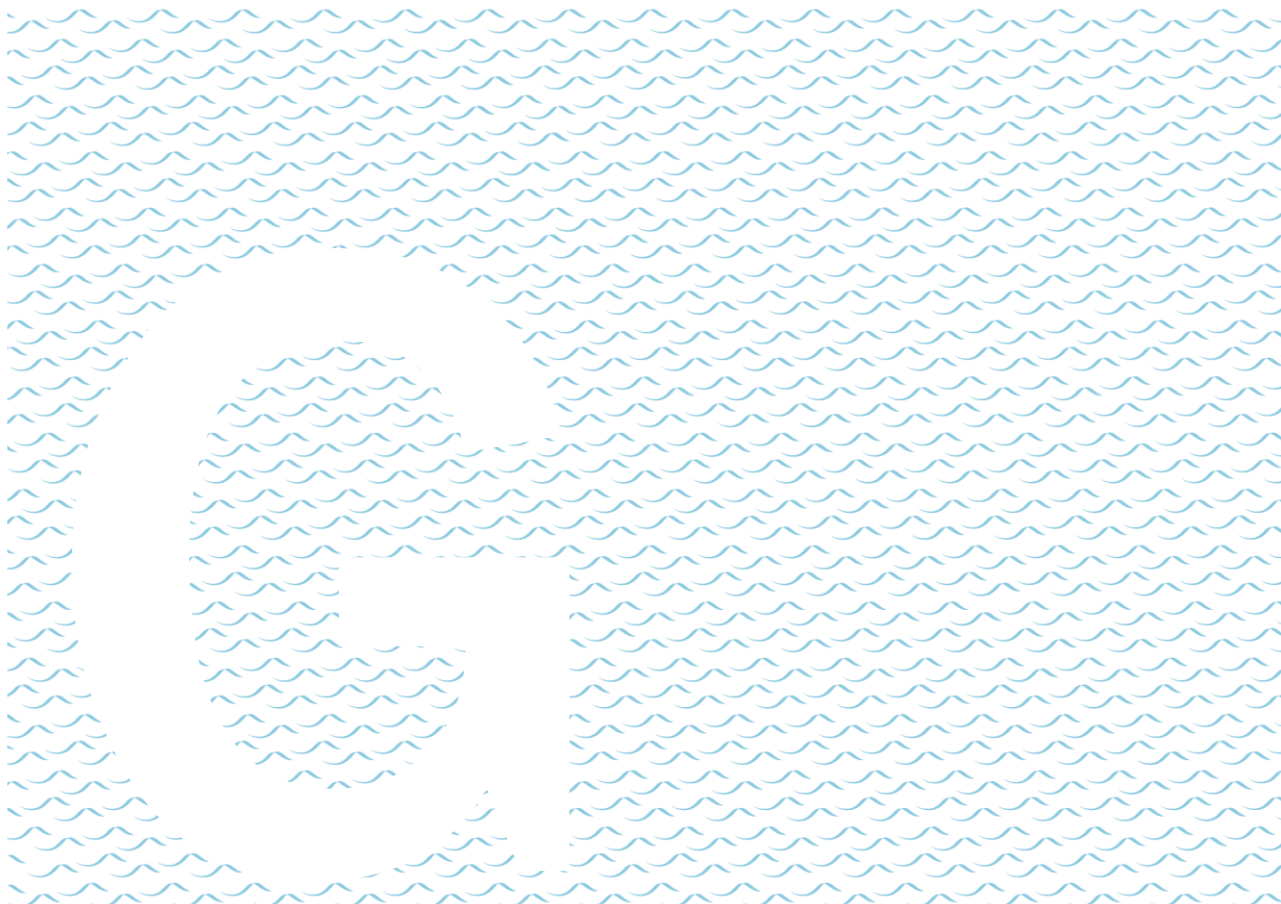


Annexe G :

**Etude de dispersion dans le canal
de Caronte (Waeles Marine
Consultants, 2026)**



Etude de dispersion dans le canal de Caronte



Rapport d'étude

J. Pinault, B. Waeles

V2.4 06/04/2026

Suivi de version

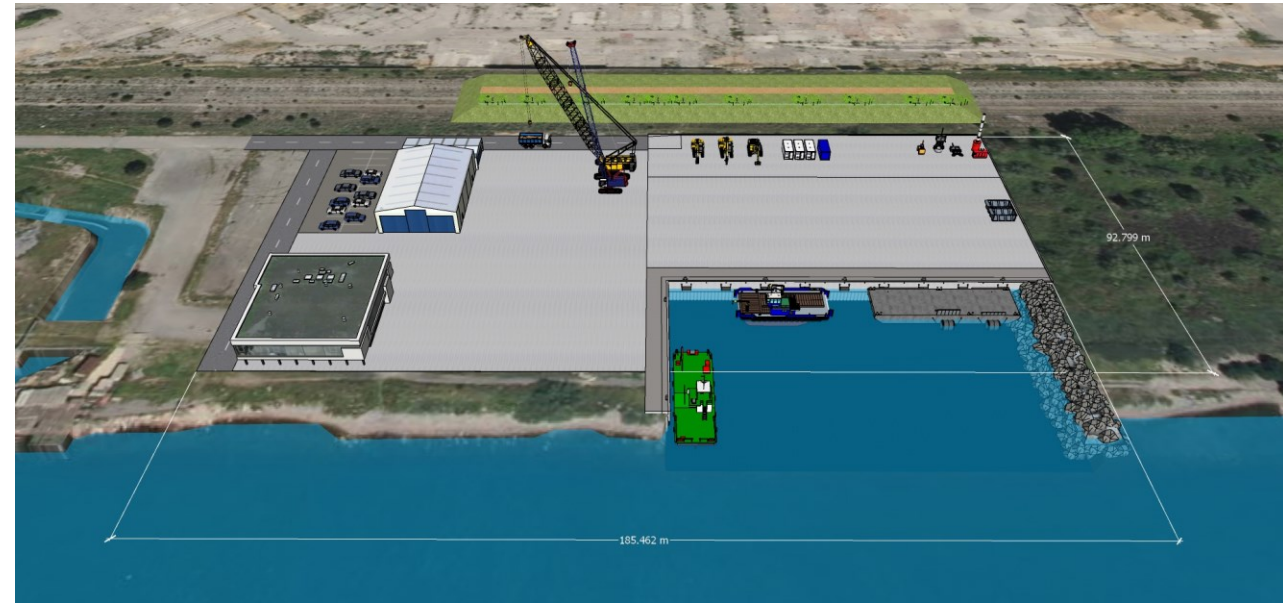
N° de version	Date	Rédaction	Vérification	Modifications
V1.1	17/09/2025	JP	BW	Première version
V2.2	22/01/2026	JP	BW	Prise en compte du caractère progressif des travaux
V2.3	26/02/2026	JP	BW	Mise à jour des dimensions de la darse, prise en compte des eaux de ressuyage
V2.4	06/04/2025	JP	BW	Ajout du calcul de la durée de vidange pour un facteur de sécurité de 3 et un débit max de 400 m3/h

Contexte

Dans le cadre de la création d'une darse dans le canal de Caronte, la société CISMA Environnement sollicite le bureau d'études WMC pour le compte d'Océlian, afin de réaliser une étude de dispersion des éléments polluants présents dans les sols à l'endroit de la darse, lors de sa mise en contact avec le canal de Caronte.

Sommaire

- [1. Méthodologie](#)
- [2. Configuration SCHISM](#)
- [3. Validation de la configuration SCHISM](#)
 - [3.1. Campagne LNHE](#)
 - [3.2. Campagne WMC](#)
- [4. Modélisation de la dispersion](#)
 - [4.1 Méthodologie](#)
 - [4.2 Résultats – cartes de dispersion](#)
 - [4.3 Résultats – cartes de concentration maximale](#)
 - [4.4 Résultats – analyse temporelle](#)
 - [4.5 Seuil R1](#)
- [5. Mise à jour des résultats](#)
- [6. Synthèse et conclusions des modélisations](#)



1. Méthodologie

Afin d'étudier la dispersion des éléments dissous présents dans la nappe phréatique, une configuration 3D du modèle hydrodynamique SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model, Zhang *et al.* (2016)) est mise en place.

La configuration mise en place est d'abord validée avec des mesures de courant dans le canal de Caronte, afin de s'assurer que les bons ordres de grandeurs des intensités des vitesses de courants soient reproduits, ainsi que les directions liées aux effets de remplissage/vidage de l'étang de Berre sous l'influence de la marée.

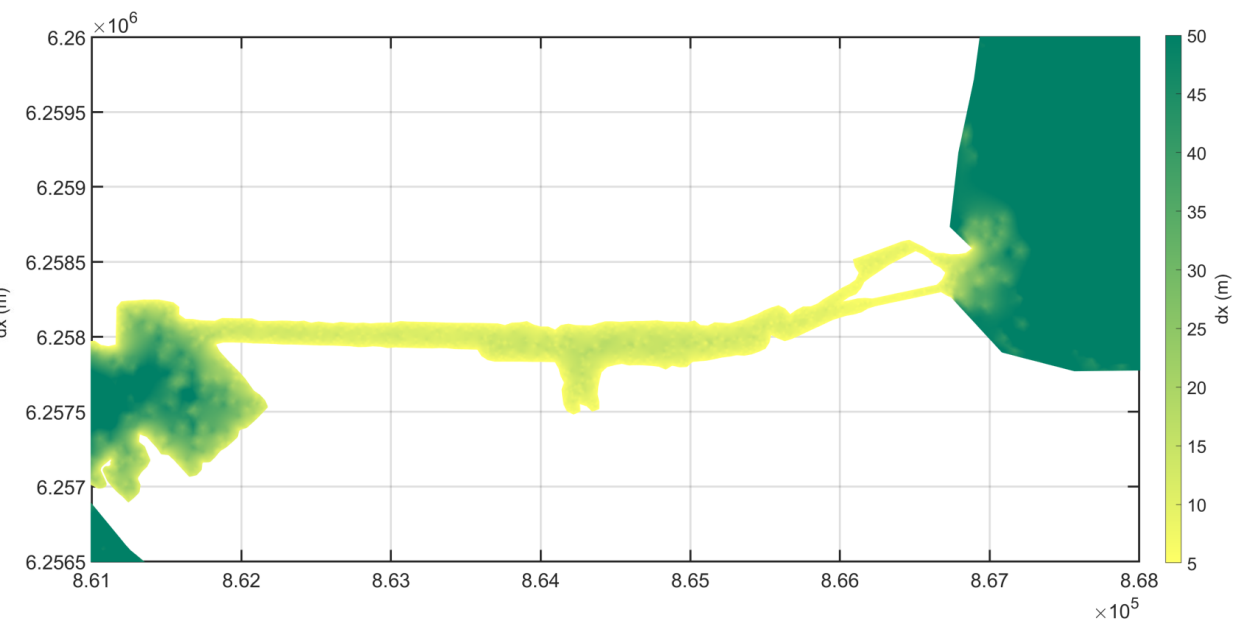
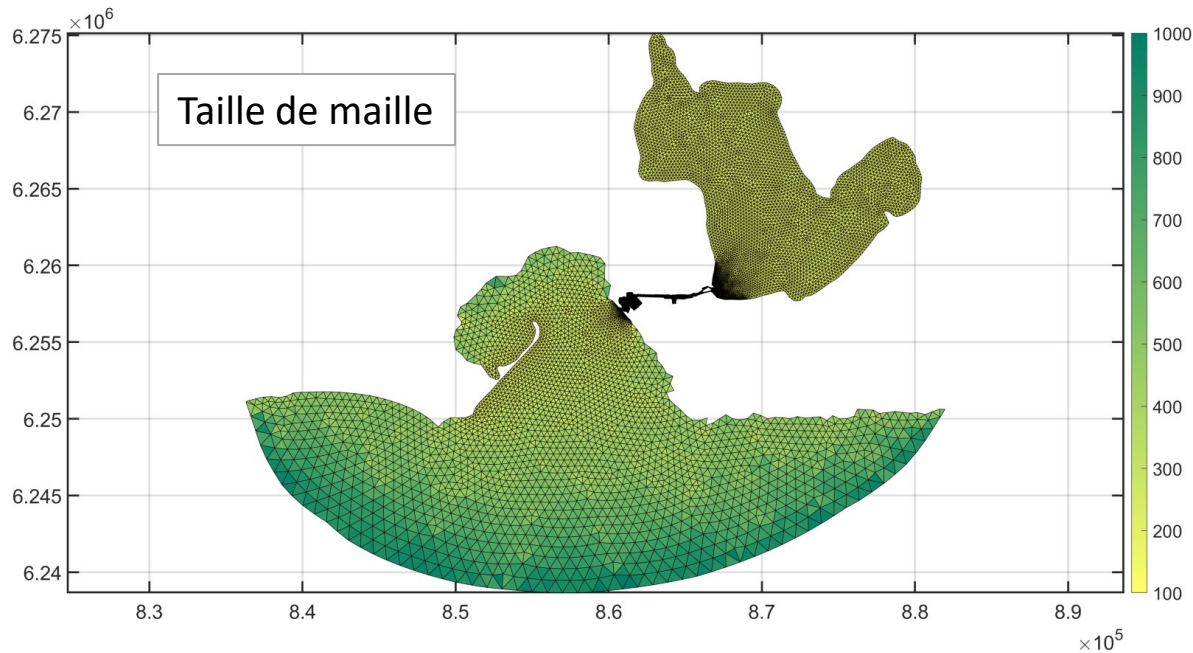
La configuration SCHISM validée est ensuite utilisée pour simuler un lâcher de polluants dissous dans la darse. L'évolution de la qualité de l'eau est analysée suivant 2 méthodologies :

- L'analyse, via les résultats SCHISM, de la dispersion du polluant, et de sa concentration au regard des seuils réglementaires
 - Cartes de concentration instantanée à +24h, +48h
 - Cartes de concentration maximale
 - Cartes de temps de dépassement du seuil
- L'utilisation du critère R1, qui définit la quantité journalière de polluant pouvant être rejeté en fonction du débit du milieu (« cours d'eau » dans lequel l'effluent se disperse).

2. Configuration SCHISM

2.1 Configuration du modèle

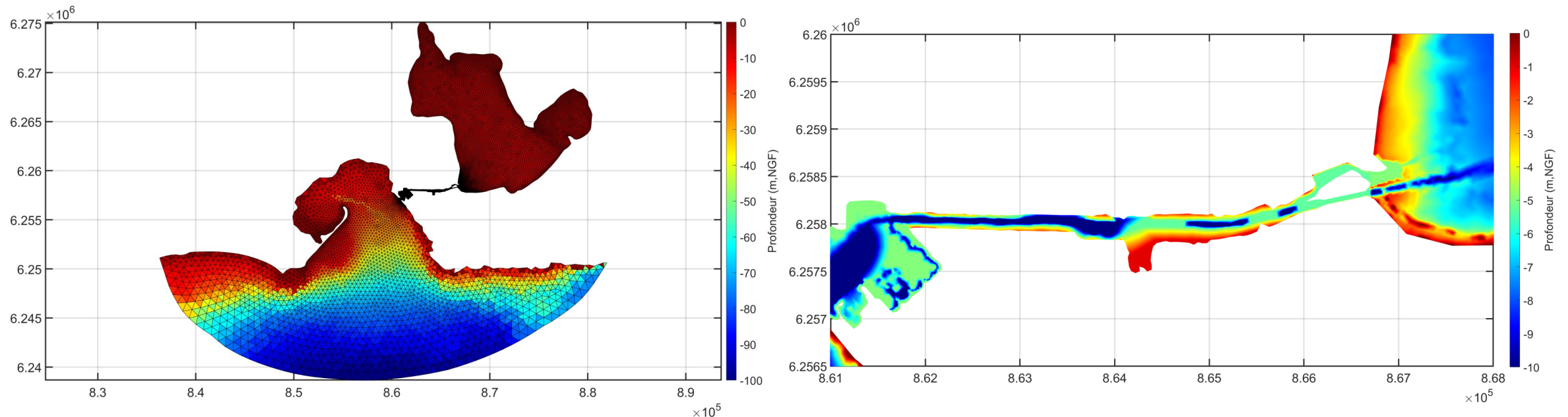
- Grille de calcul :
 - 28722 nœuds / 57453 éléments
 - Maillage : de 1km à la frontière à 5m dans la zone d'intérêt
 - 5 couches verticales
- Pas de temps Δt : 100s
- Suivi de polluant : traceur non constitutif conservatif
- Rugosité : $k_s = 2\text{cm}$
- Forçages :
 - Niveau d'eau : marégraphe de Marseille
 - Débits entrants dans l'étang de Berre :
 - Station EDF : $77\text{ m}^3/\text{s}$
 - Arc : $2.5\text{ m}^3/\text{s}$



2.2 Sources des données bathymétriques

Plusieurs sources bathymétriques sont utilisées pour générer la grille de calcul de SCHISM, le jeu de données le plus précis et à jour (Litto3D) n'étant pas disponible sur tout le domaine. Dans l'ordre de priorité, les sources utilisées sont :

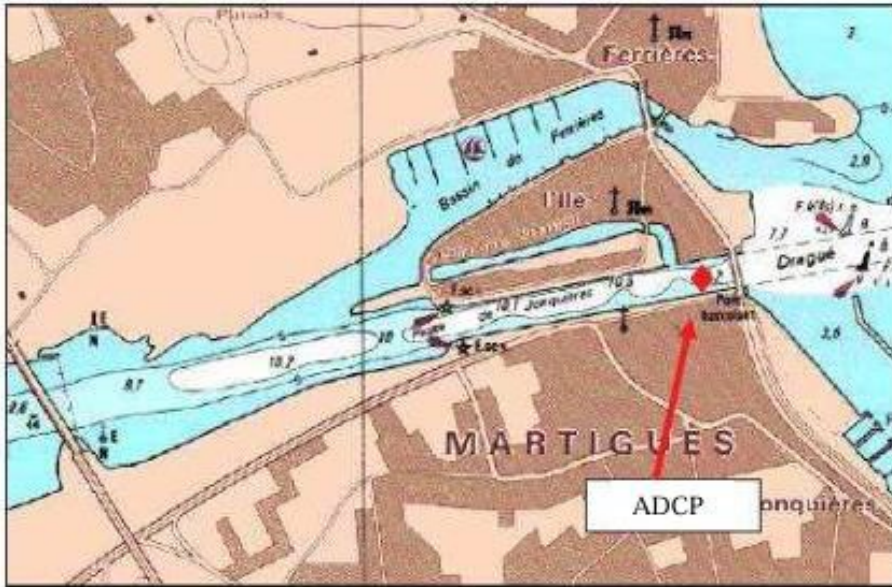
- Le produit Litto3D du SHOM (précision <1m, jusqu'à une profondeur ~10m NGF)
- Un lot bathymétrique du SHOM de 1992 (pour la zone non couverte de l'étang de Berre par la Litto3D)
- La bathymétrie HOMONIM, pour l'extérieur du golfe de Fos
- Les cartes SHOM, pour obtenir quelques détails dans le canal de Caronte



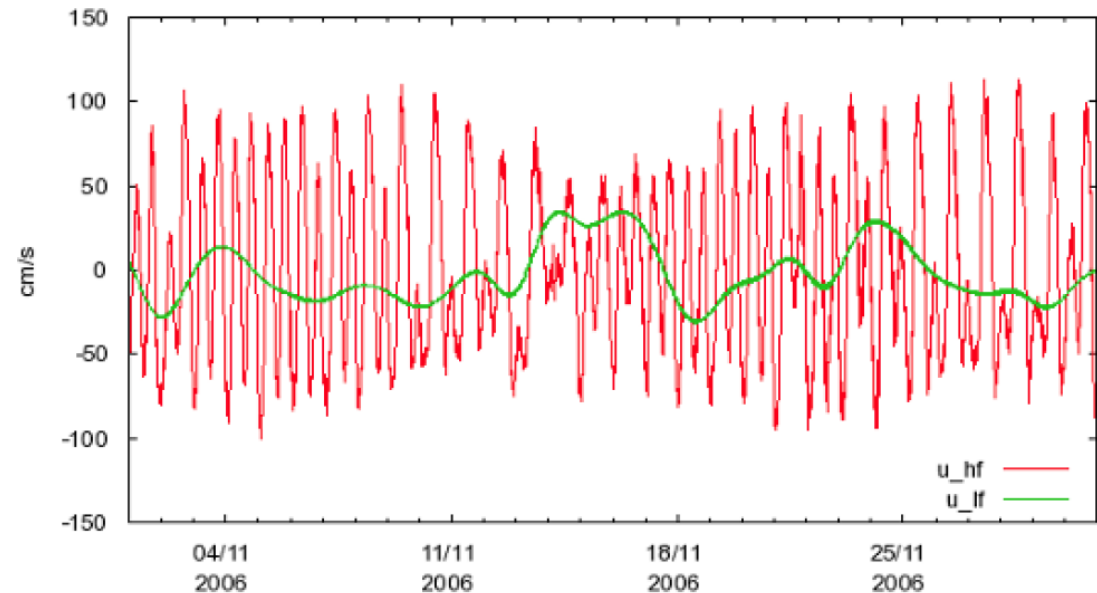
3. Validation de la configuration SCHISM

3.1 Campagne de mesures LNHE 2006-2007

- Campagne réalisée par LNHE (EDF-R&D) entre septembre 2006 et octobre 2007
- Un capteur de courant type ADCP posé dans le canal Galiffet (Martigues)
- Données disponibles : mois de novembre 2006 (source : rapport d'Actimar de juillet 2024)



Localisation de l'ADCP

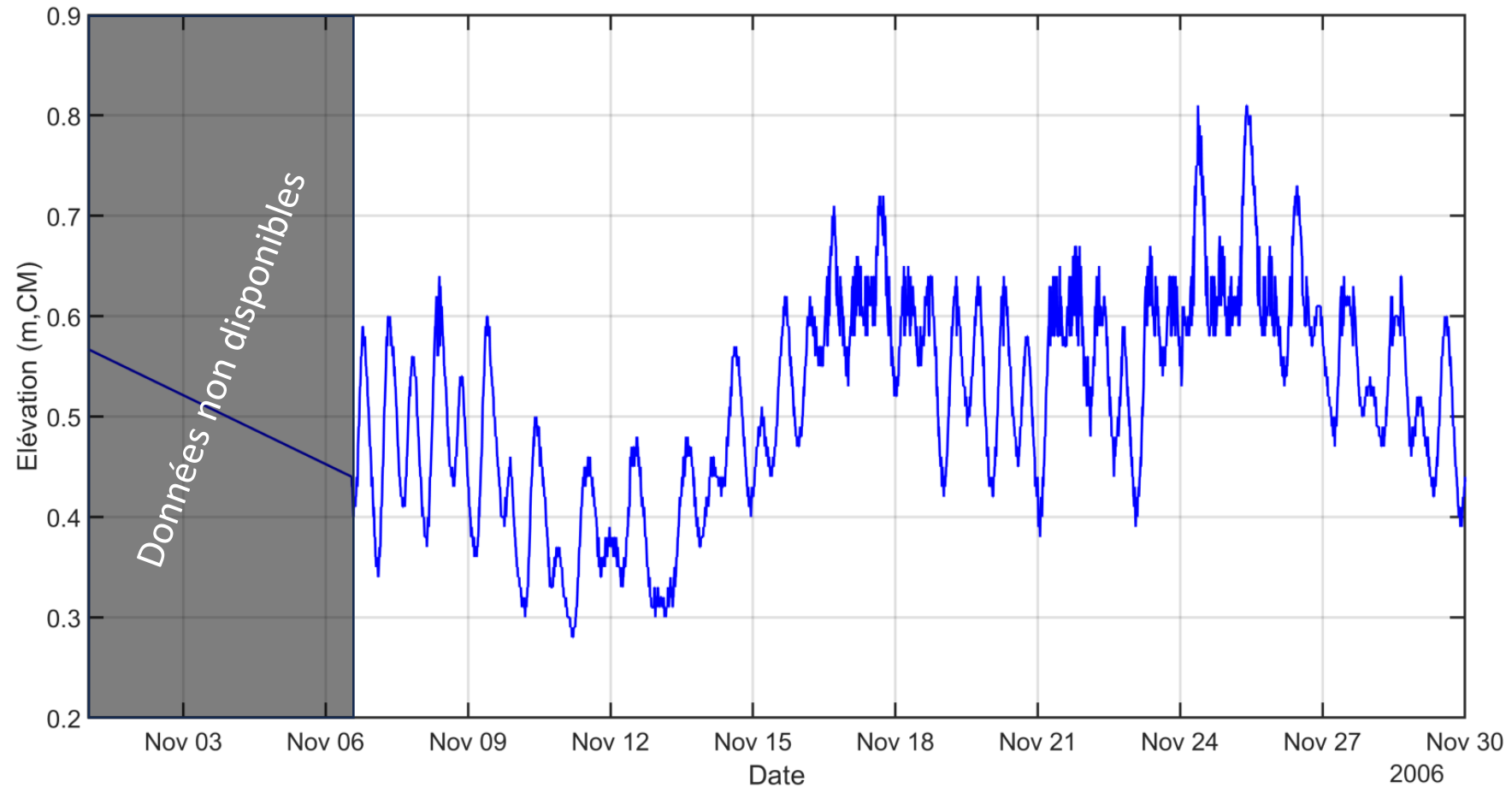


Courant (composante Est/Ouest) moyenné sur la verticale

La courbe rouge représente les mesures de courant « haute-fréquences », et la courbe verte le courant « basse-fréquence » (moyenne glissante sur ~12h du signal haute-fréquence).

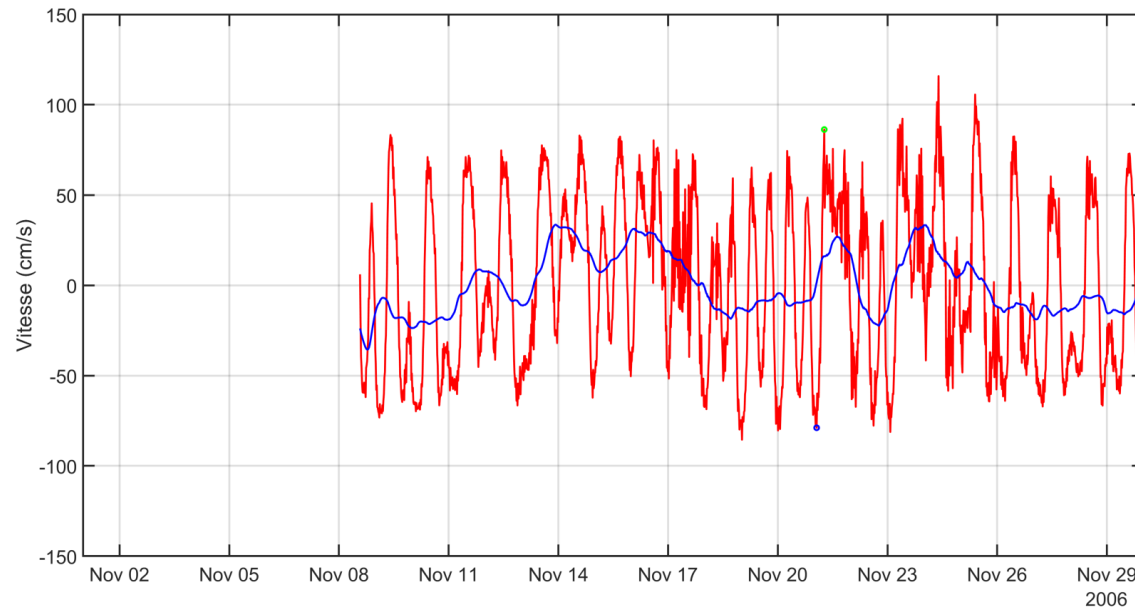
Forçage

Le niveau d'eau mesuré au marégraphe de Marseille sur la période de mesures (données disponibles seulement à partir du 7 novembre) est imposé comme condition aux limites de SCHISM.

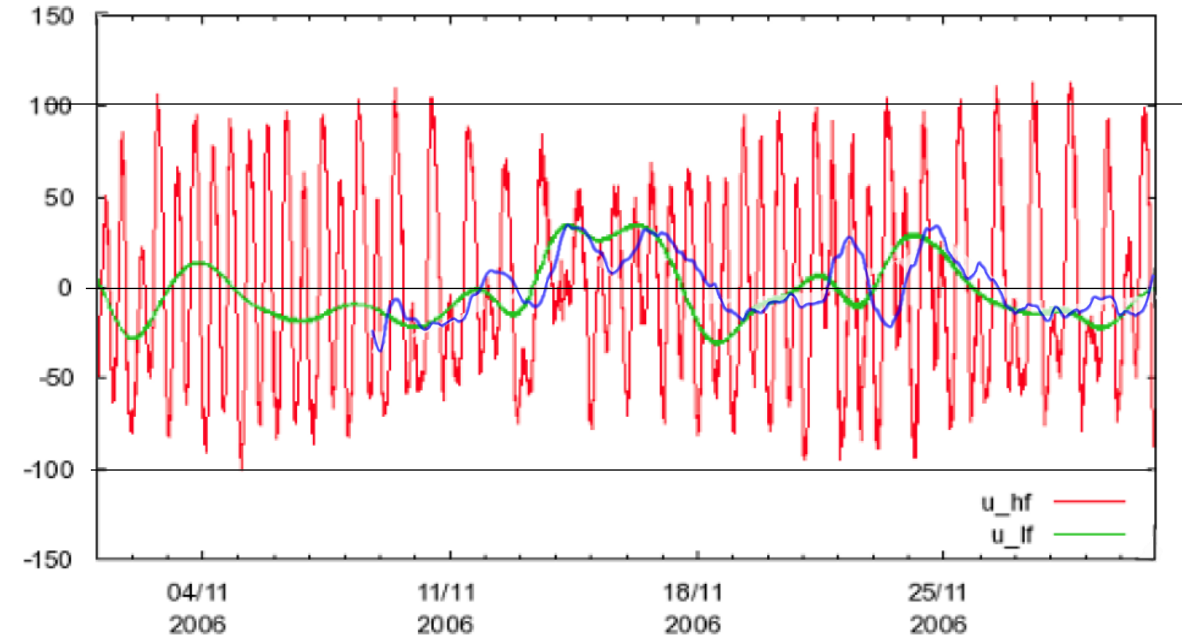


Résultats

Résultats SCHISM (rouge : dt=20min, bleu : moyenne glissante sur 24h)



Données observées avec résultats SCHISM superposés



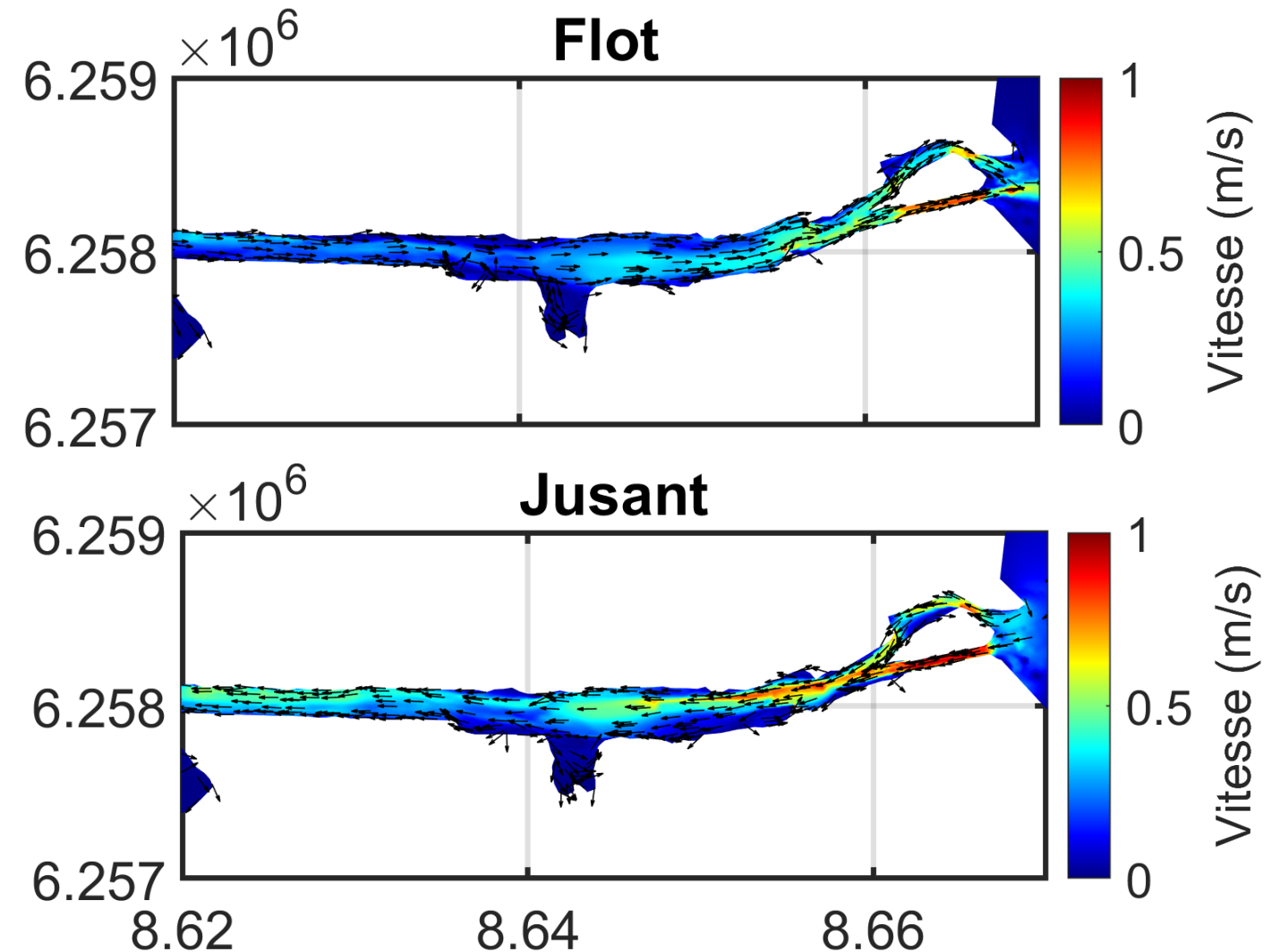
La comparaison entre les données mesurées et les modélisations SCHISM indiquent que :

- Les ordres de grandeurs des vitesses sont respectés :
 - Moyenne glissante sur 24h : $< 50\text{cm/s}$
 - Vitesses « instantanées » : $\sim 1\text{ m/s}$
- Les moments de maximums ou minimums de vitesse basse-fréquence sont en phase et du même ordre de grandeur
- L'asymétrie flot/jusant en faveur du jusant est bien représentée (i.e. courants au pic de jusant plus intenses que les courants au pic de flot, en partie lié au fait que le débit de la centrale EDF est significatif au regard du volume oscillant de marée).

Exemples de cartes de vitesse au moment du flot et du jusant

Ces cartes présentent les intensités et les directions du courant dans le canal de Caronte, aux pics de flot et de jusant.

Vers la zone de projet, les vitesses sont de l'ordre de 25 cm/s pendant le flot et 50 cm/s pendant le jusant.



3.3 Campagne de mesures WMC

Un inclinomètre a été déployé dans le canal de Caronte, à proximité de la zone de projet, entre le 27/05/2025 et le 28/05/2025, afin d'obtenir des mesures de courant supplémentaires.

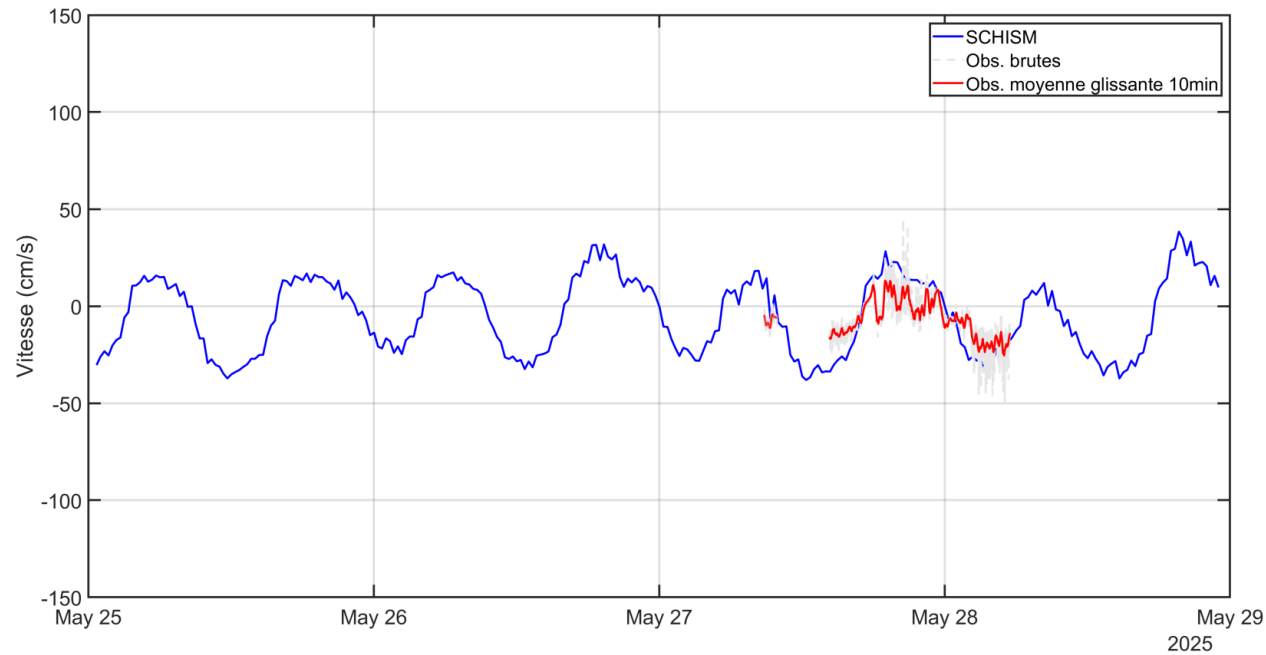


Positionnement de l'inclinomètre par rapport à la zone de projet



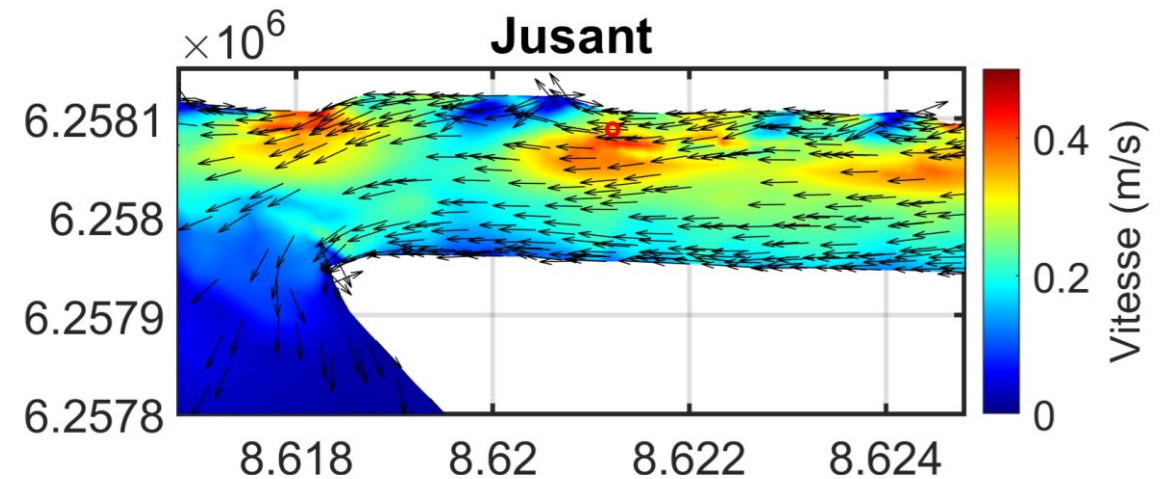
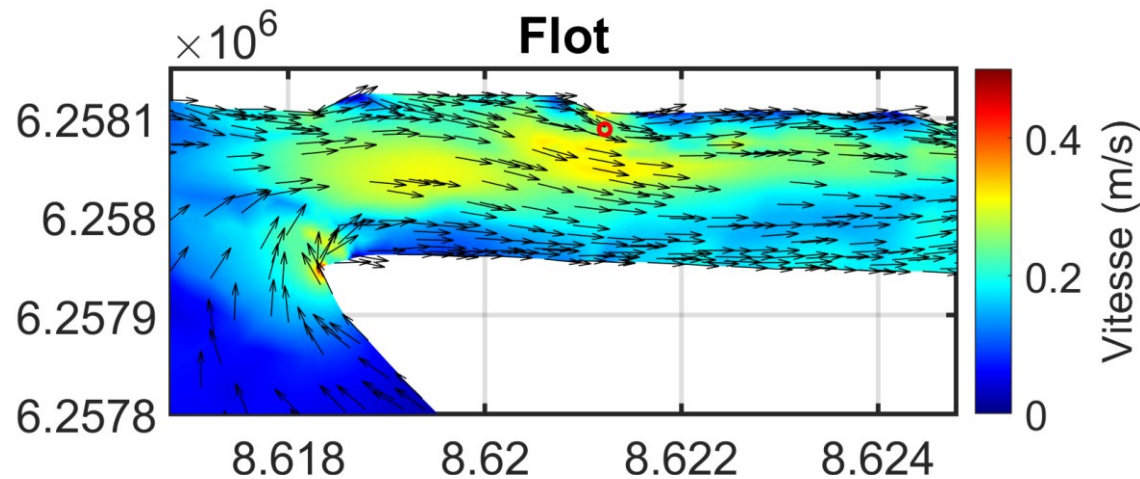
Photographie d'un inclinomètre en utilisation

Résultats



Les vitesses de courant modélisées et mesurées par l'inclinomètre sont du même ordre de grandeur.

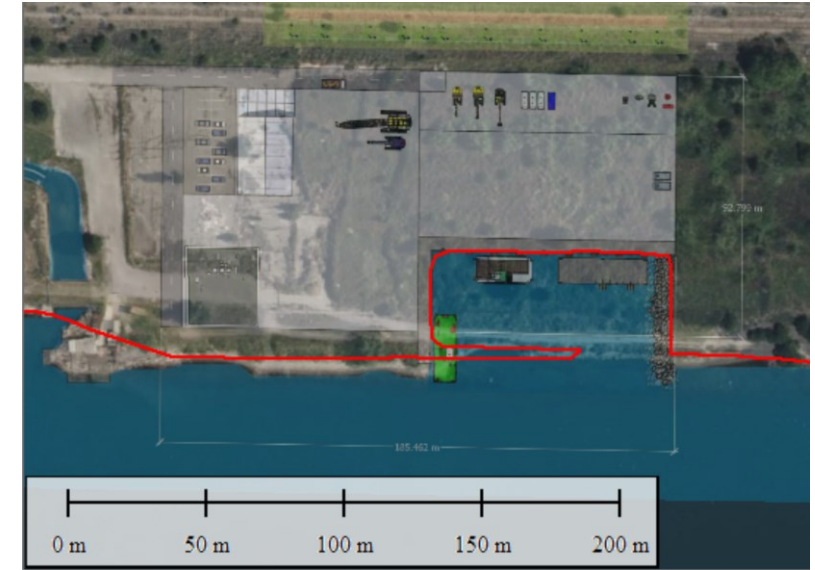
Lors du déploiement, l'inclinomètre était placé relativement proche de la rive, où une influence assez marquée de cette dernière a été observée : des recirculations, type tourbillons, étaient générés localement, ce qui se voit dans les données mesurées. Cet aspect n'est pas visible dans les données numériques car la bathymétrie est uniforme le long des berges. Cet aspect est néanmoins très localisé et n'impacte pas la capacité du modèle à reproduire l'hydrodynamique globale du canal.



4. Modélisation de la dispersion

4.1 Méthodologie

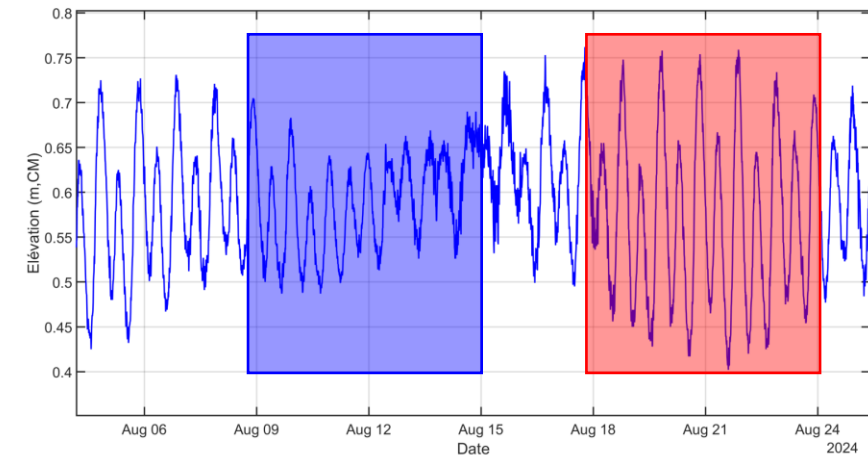
La darse telle qu'implémentée dans SCHISM a pour dimensions 86m x 36m pour une profondeur de -4m CM (toujours au moins 4m d'eau dans la darse) soit un volume total de ~14000 m³ pour un niveau d'eau moyen, et communique avec le canal via une ouverture de 30m de large.



Afin d'analyser la dispersion des éléments dissous lors de l'ouverture de la darse, plusieurs simulations, représentatives de différentes conditions, ont été effectuées.

Ces simulations représentent :

- Une ouverture de la darse à pleine mer lors d'une marée de **vive-eau** (PMVE)
- Une ouverture de la darse à basse mer lors d'une marée de **vive-eau** (BMVE)
- Une ouverture de la darse à pleine mer lors d'une marée de **morte-eau** (PMME)
- Une ouverture de la darse à basse mer lors d'une marée de **morte-eau** (BMME)



Concentrations d'éléments dissous dans les eaux souterraines

ANALYSES	Unités	LQ	Pz11	Pz12	Pz13	Pz19	Pz21	Pz22	Pz23	Eaux consommation humaine	Eaux pour production consommation humaine	OMS
Paramètres physico-chimiques												
pH	unité pH	-	7,7	7,9	7,5	8,2	7,7	7,8	7,7	6,5-9	5,5-9	
Conductivité électrique	µS/cm				3 300	1 280	94 800	36 700	43 400	180-1000		
Métaux												
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	2,3	19,8	0,67	3,58	16,2	14,7	3,21	10		20
Arsenic (As)	µg/l	0,2	2 300	1 010	10,7	7,92	101	637	64	10	100	10
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	85,2	56,1	44,8	13,9	206	675	734	700		1300
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	<0,20	<0,20	1,52	7,35	<0,20	<0,20	<0,20	5	5	3
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,58	<0,50	25	50	50
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	<0,50	<5,00	0,56	5,66	<0,50	<0,50	<0,50	2 000		2000

Les analyses de la constitution des eaux de la nappe phréatique indiquent que l'arsenic est présent en quantité largement supérieure (2300 µg/L) à la norme (10 µg/L). C'est donc l'élément dissous le plus probable de dépasser le seuil lors des analyses de dispersion, ainsi, c'est sur ce constituant que se base l'analyse des résultats SCHISM.

Dans la configuration SCHISM, la darse est initialisée avec une concentration de 2300 µg/L d'arsenic, soit une quantité totale de 32.4 kg, pour un volume de la darse de ~14 000 m³.

4.2 Résultats – Cartes de dispersion

4.2.1 Morte-eau : ouverture à marée basse (marégraphe de Fos)

Les cartes de concentration en arsenic pour des ouvertures de darse à différents moments de la marée (marée basse ou marée haute) et pour différentes conditions de marée (morte-eau ou vive-eau) sont données dans cette section. Les cartes sont « instantanées » : elles correspondent à l'état 24h et 48h après l'ouverture. La concentration en arsenic est à comparer avec le seuil légal pour l'eau potable, de 10 µg/L.

En conditions de morte-eau et pour une ouverture de darse à marée-basse, le panache est sortant : il se dirige vers le golfe de Fos.



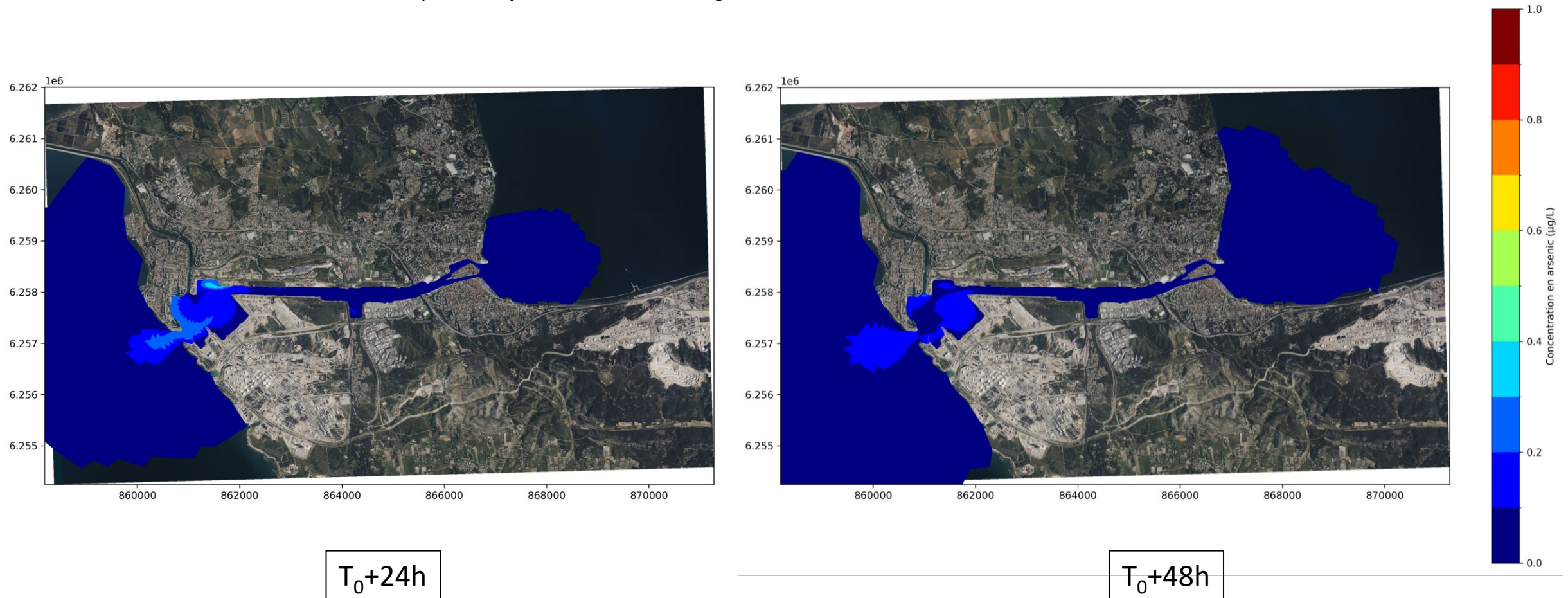
T_0+24h



T_0+48h

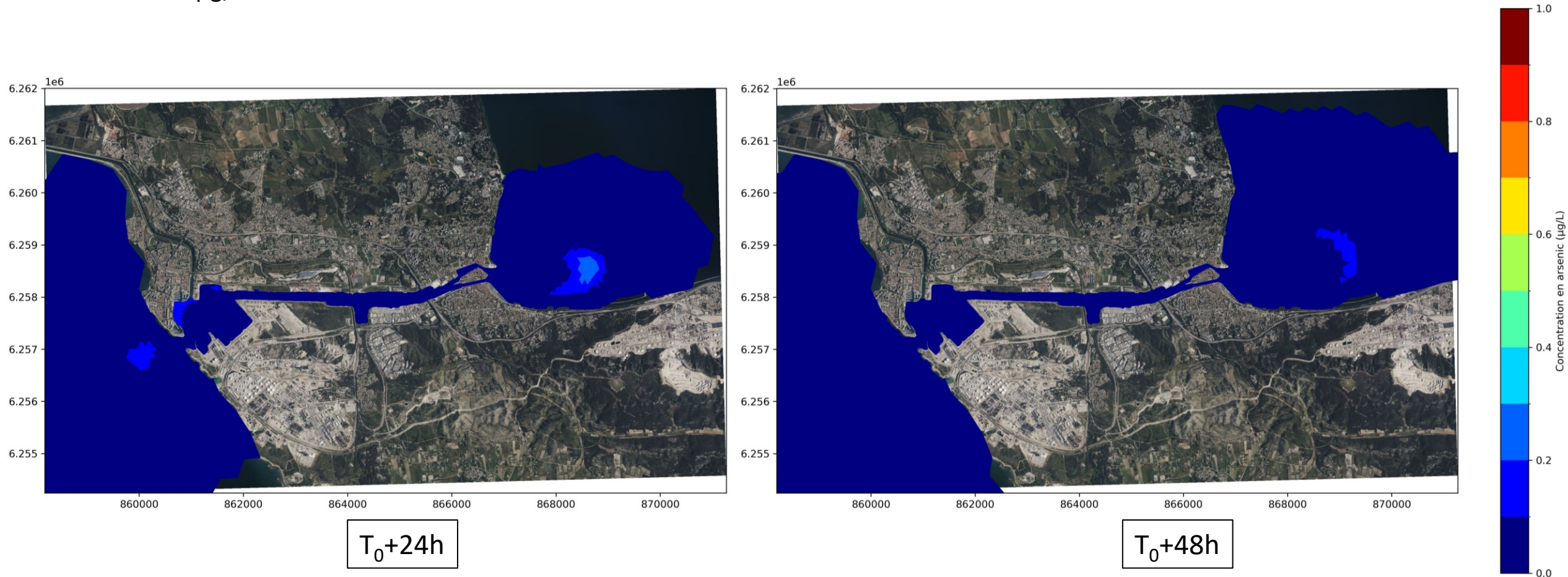
4.2.2 Morte-eau : ouverture à marée haute (marégraphe de Fos)

Le schéma de dispersion de l'arsenic pour une ouverture de la darse à marée haute pendant une marée de morte-eau est similaire à celui d'une ouverture à marée basse : l'arsenic est dispersé majoritairement vers le golfe de Fos.



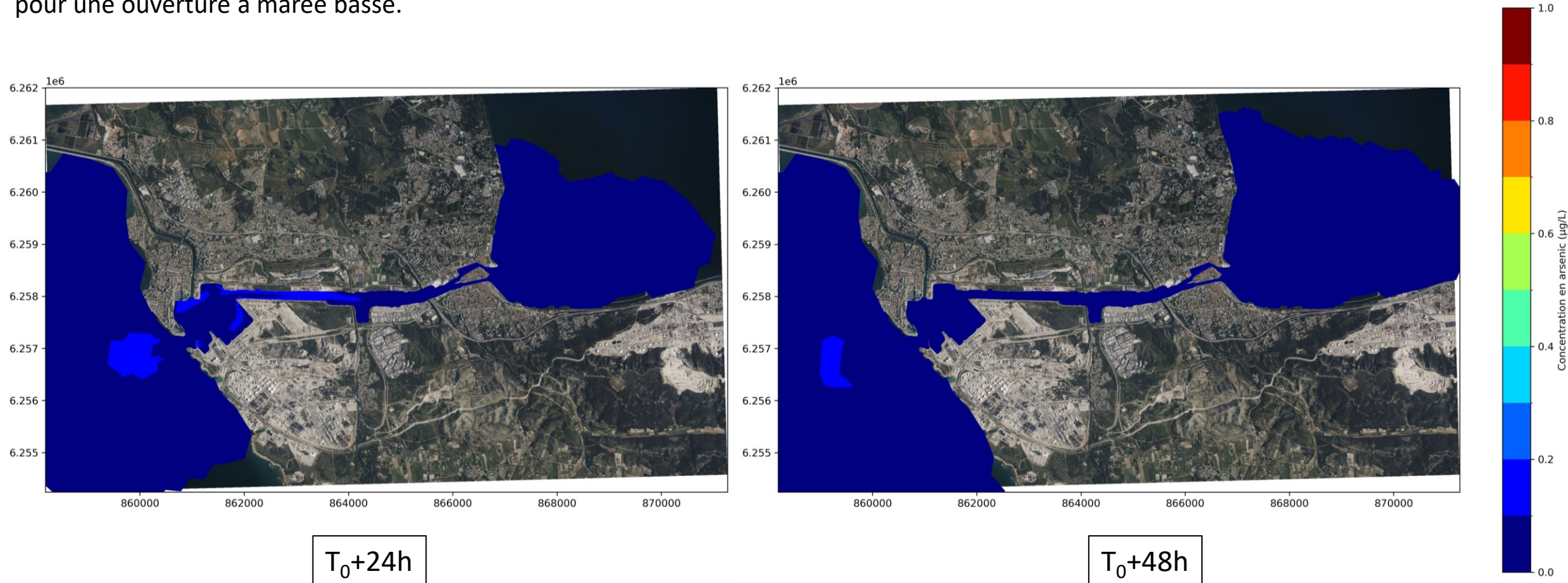
4.2.3 Vive-eau : ouverture à marée basse (marégraphe de Fos)

Quand l'amplitude de marée est suffisante pour que les courants en flot, malgré le débit amont, soient suffisamment intenses en direction de l'étang, une (très légère) partie des polluants est dispersée vers l'étang. A noter que la concentration reste très en-deçà du seuil de $10\text{ }\mu\text{g/L}$.

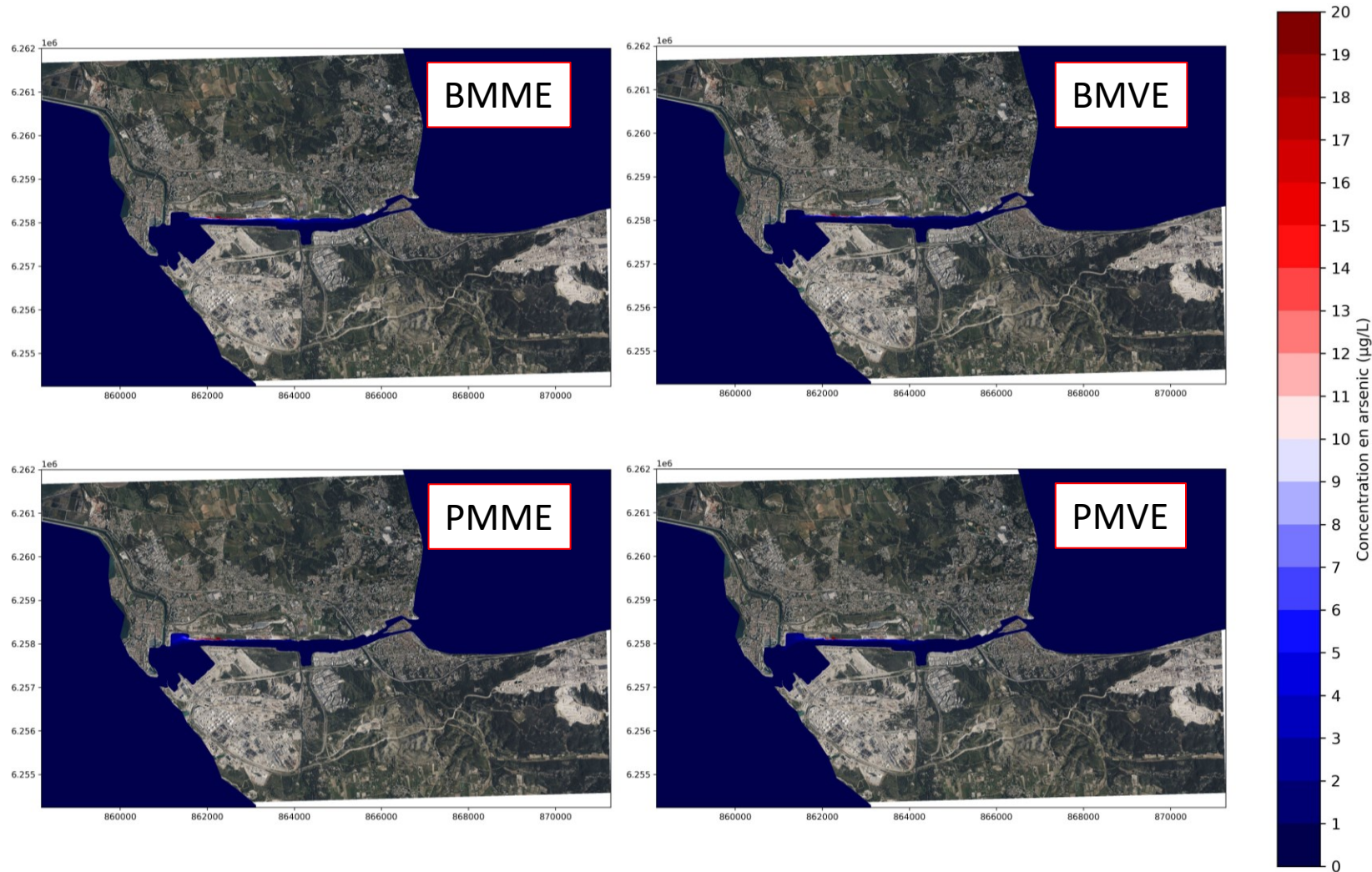


4.2.4 Vive-eau : ouverture à marée haute (marégraphe de Fos)

Si l'ouverture de la darse correspond à une marée haute, le panache est d'abord entraîné par le jusant et sort dans le golfe de Fos, où il est mélangé progressivement aux eaux propres. Le panache n'est ensuite pas redirigé vers l'étang de Berre, comme c'est le cas pour une ouverture à marée basse.



4.3 Résultats – Cartes de concentration maximale



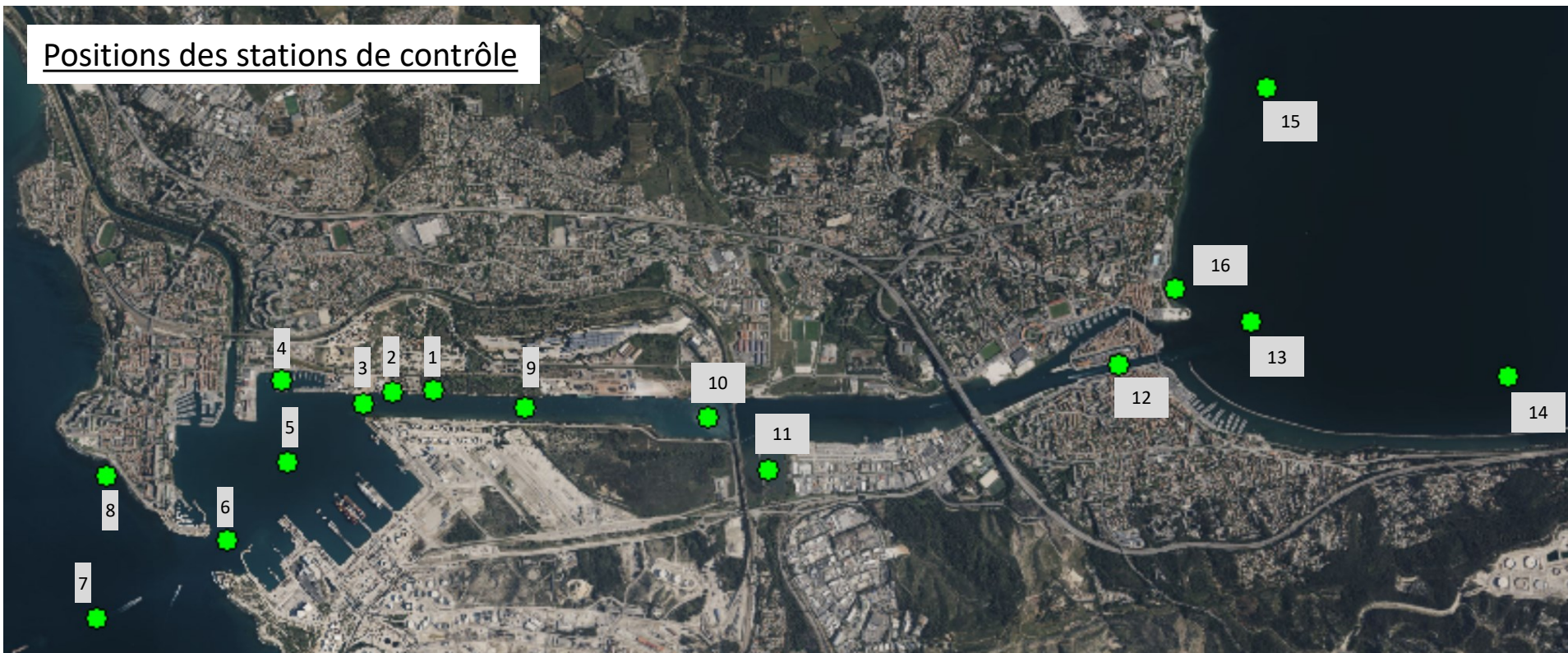
Les cartes de concentration maximale indiquent une concentration supérieure au seuil ($10 \mu\text{g/L}$) en rouge et une concentration inférieure en bleu. Les cartes mettent en évidence la faible extension spatiale des zones à concentrations supérieures au seuil (en rouge) qui se trouvent de part et d'autre de la darse, sur environ 1km de chaque côté.

A noter que ces cartes donnent uniquement une information momentanée : elles n'indiquent pas pendant combien de temps le seuil a été dépassé.

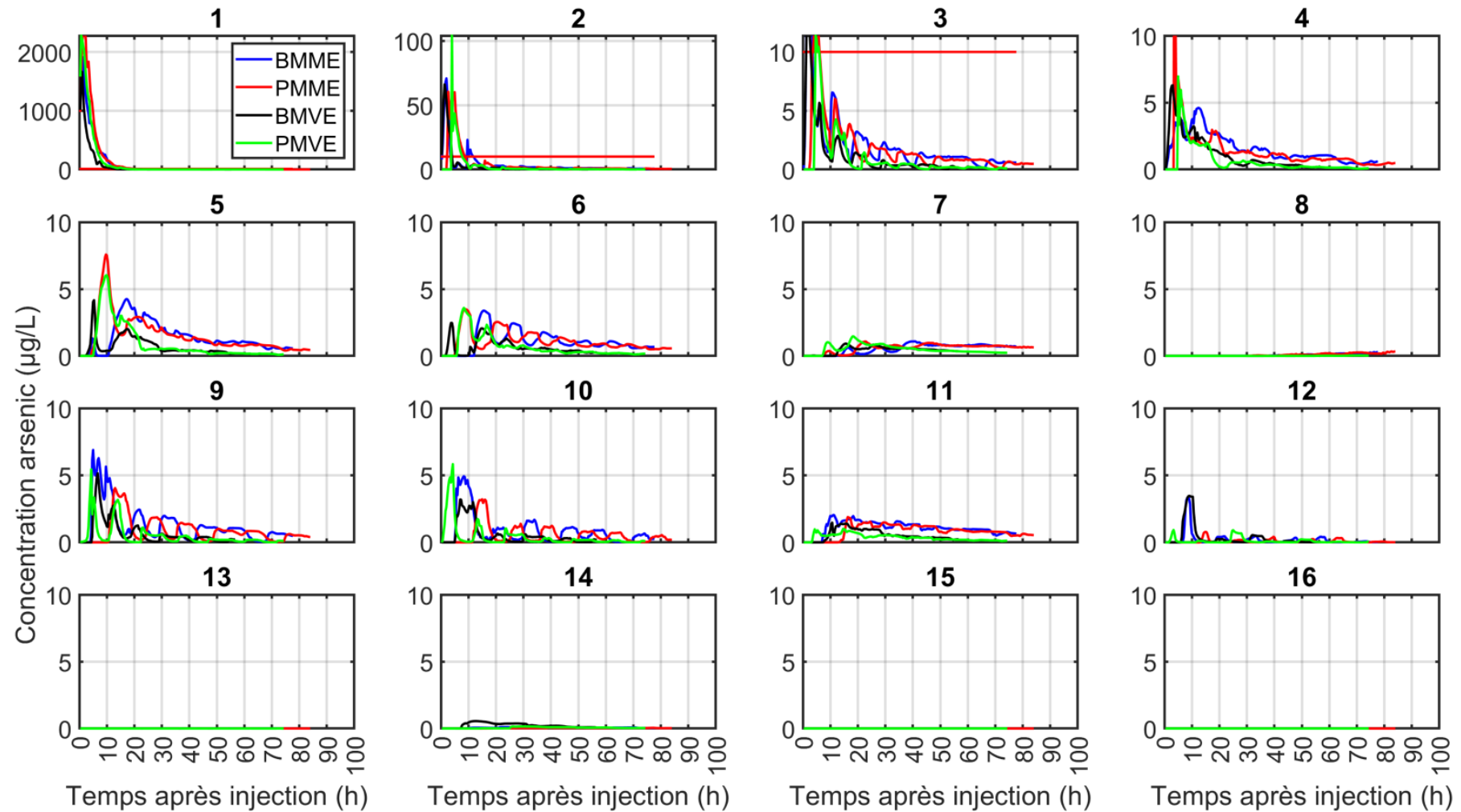
4.4 Résultats – Analyse temporelle

4.4.1 Evolution temporelle à différentes stations de contrôle

Plusieurs stations de contrôles ont été définies dans le domaine (notamment dans le canal, à la sortie côté Fos et dans l'étang de Berre) afin de pouvoir analyser l'évolution temporelle de la concentration.

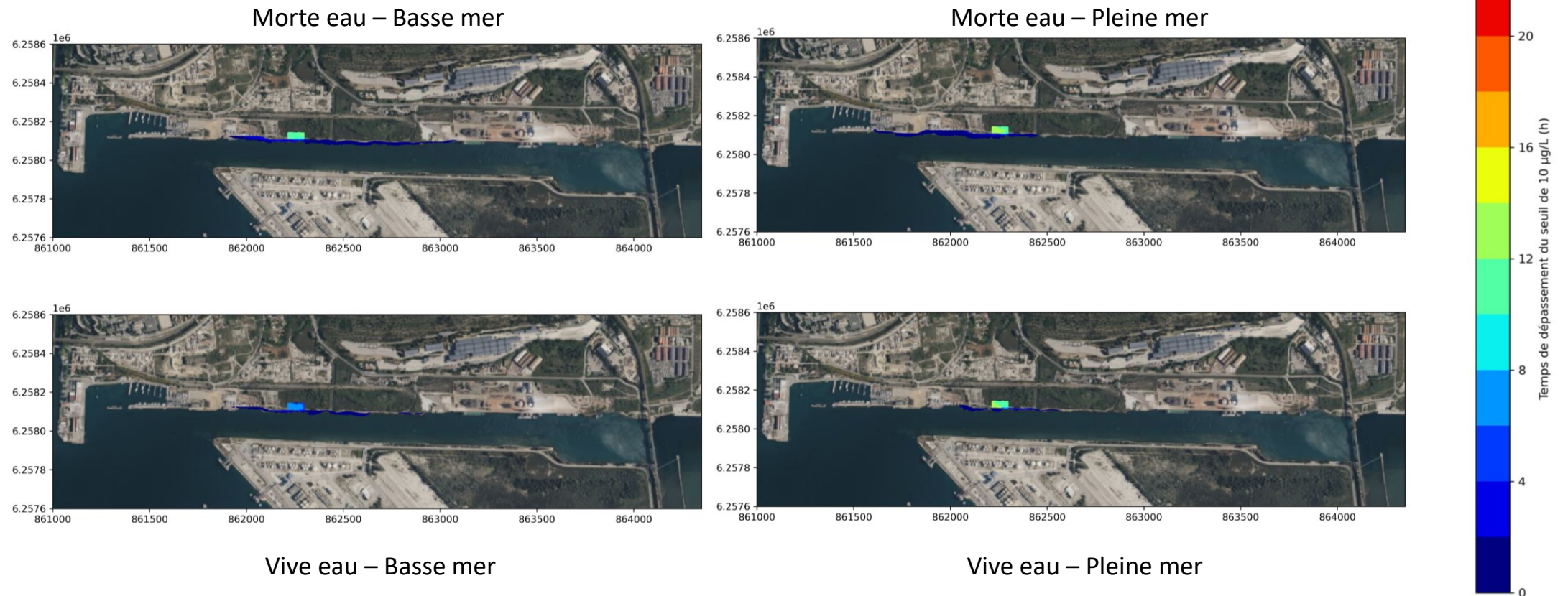


L'analyse spécifique de l'évolution temporelle de la concentration en stations complète les résultats des cartes de concentration maximale. On peut ainsi noter qu'aux stations 2-4 les valeurs supérieures au seuil de 10 µg/L modélisées sont en fait très momentanées, et la concentration passe sous le seuil au bout de quelques heures après injection.



4.4.2 Cartes de temps de dépassement du seuil de 10 µg/L

Pour visualiser de façon plus synthétique les résultats des analyses temporelles, les temps de dépassement du seuil de 10 µg/L sont cartographiés. Ces cartes indiquent qu'à l'exception de la darse, la concentration en arsenic n'est au-dessus du taux légal que pendant quelques heures (<10h), le temps que l'hydrodynamisme assure la dispersion de l'effluent. On peut remarquer sur ces cartes que pour les conditions de morte-eau, la darse garde une concentration « élevée » en arsenic plus longtemps qu'en vive-eau, du fait d'un hydrodynamisme moins énergétique et donc d'un mélange moindre entre les eaux de la darse et celles du canal.



4.5 Résultats – Seuil R1

4.5.1 Rappel du mode de calcul du seuil R1 et méthodologie

La norme R1 (arrêté du 9 août 2006) définit la quantité journalière de polluant pouvant être rejetée dans un cours d'eau, en fonction de son débit.

Le seuil R1 se calcule comme suit : $R_1(mg/j) = Q(m^3/j) \cdot C_{NQE}(mg/m^3)$

Où Q est le débit journalier (moyenne annuelle) dans le canal de Caronte et C_{NQE} est la concentration de la Norme de Qualité Environnementale, fixée à 0.83 µg/L pour l'arsenic. Le débit dans le canal de Caronte est calculé avec SCHISM.

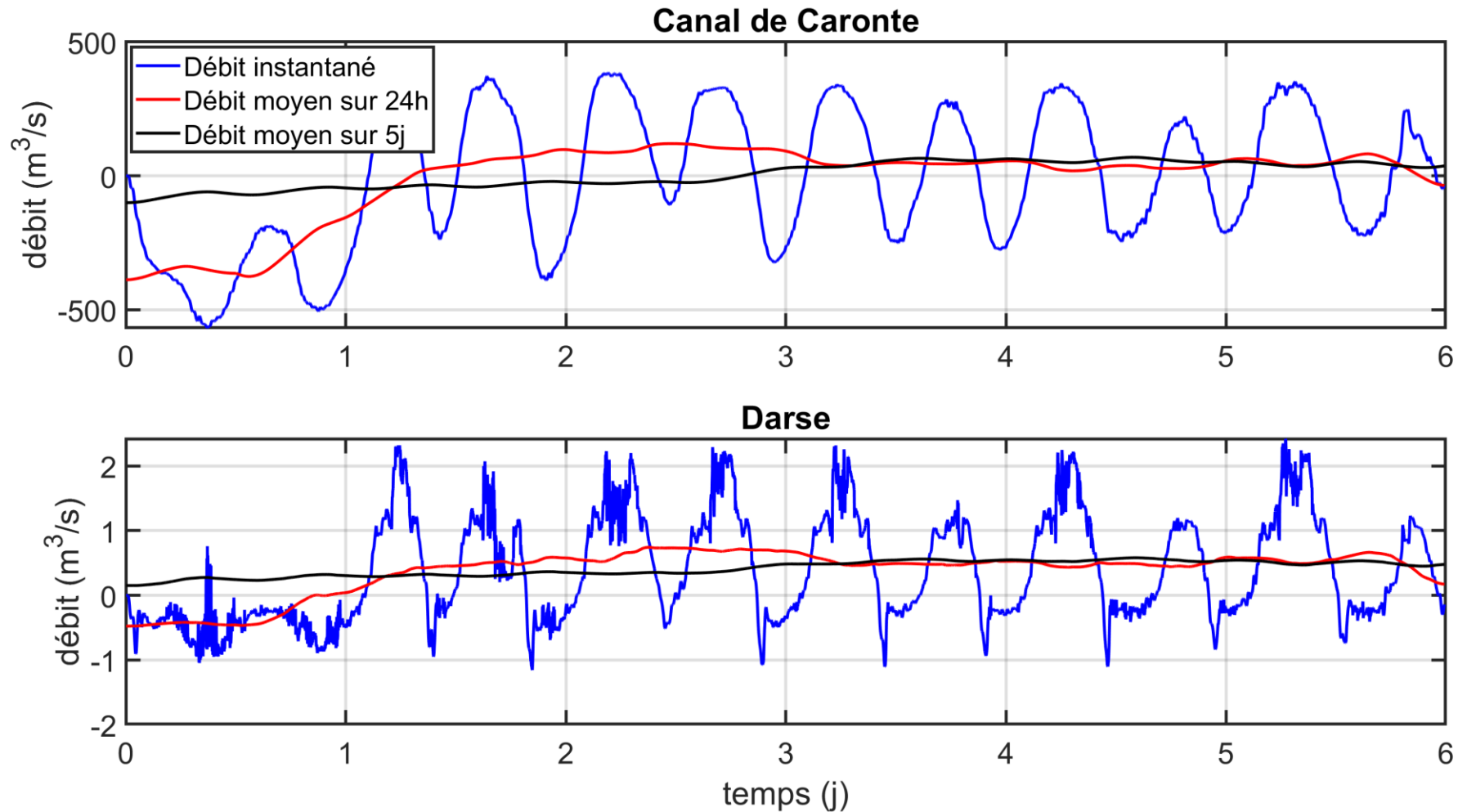
A ce seuil R1 est comparé le flux sortant de la darse (débit calculé avec SCHISM).



4.5.2 Calcul des débits et des seuils R1 – Morte eau

Pour le canal de Caronte, un débit de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ est retenu en condition de morte-eau. Soit une valeur **R1 de 3.6 kg/j** .

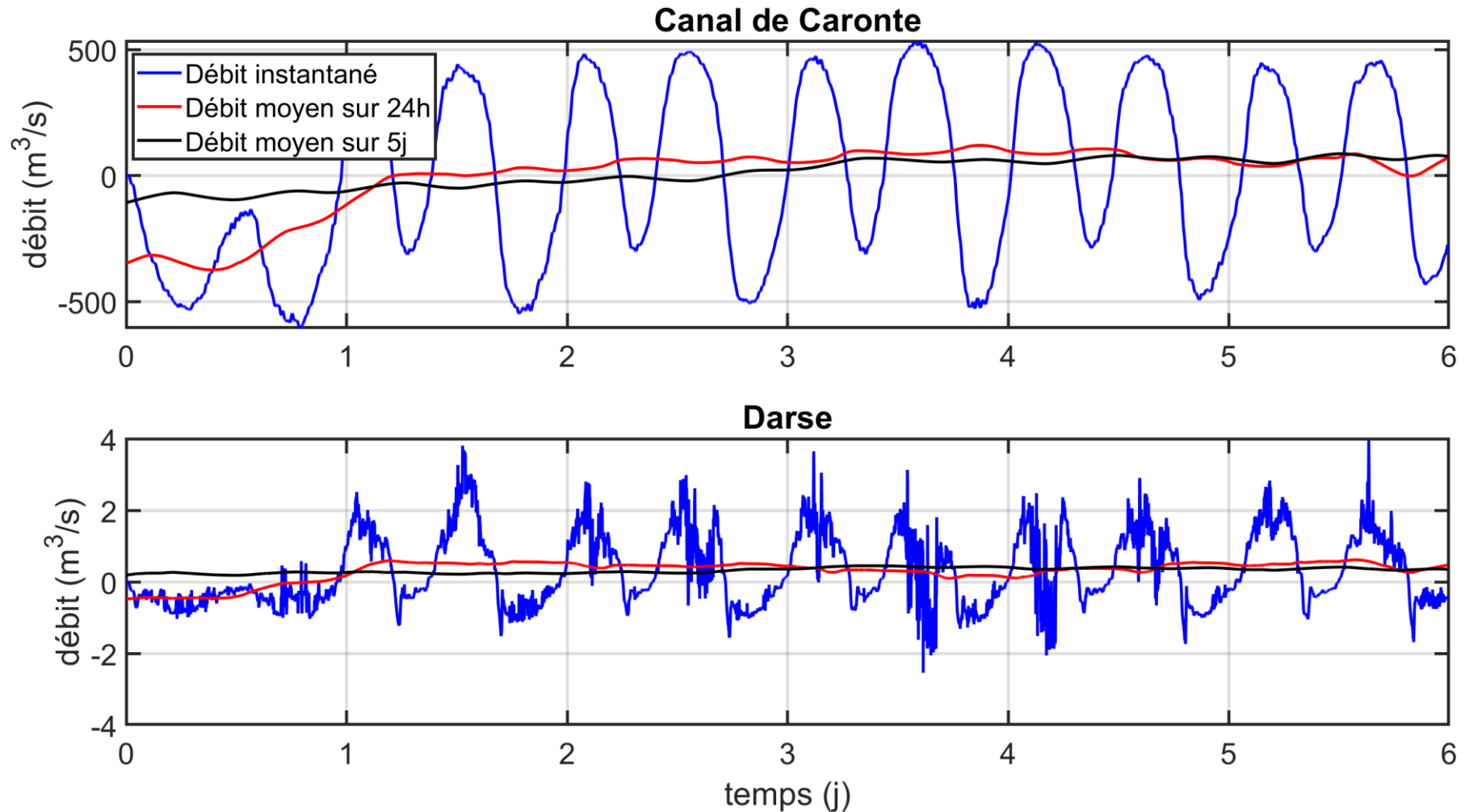
Le débit moyen de la darse vers le canal est d'environ $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$.



4.5.3 Calcul des débits et des seuils R1 – Vive eau

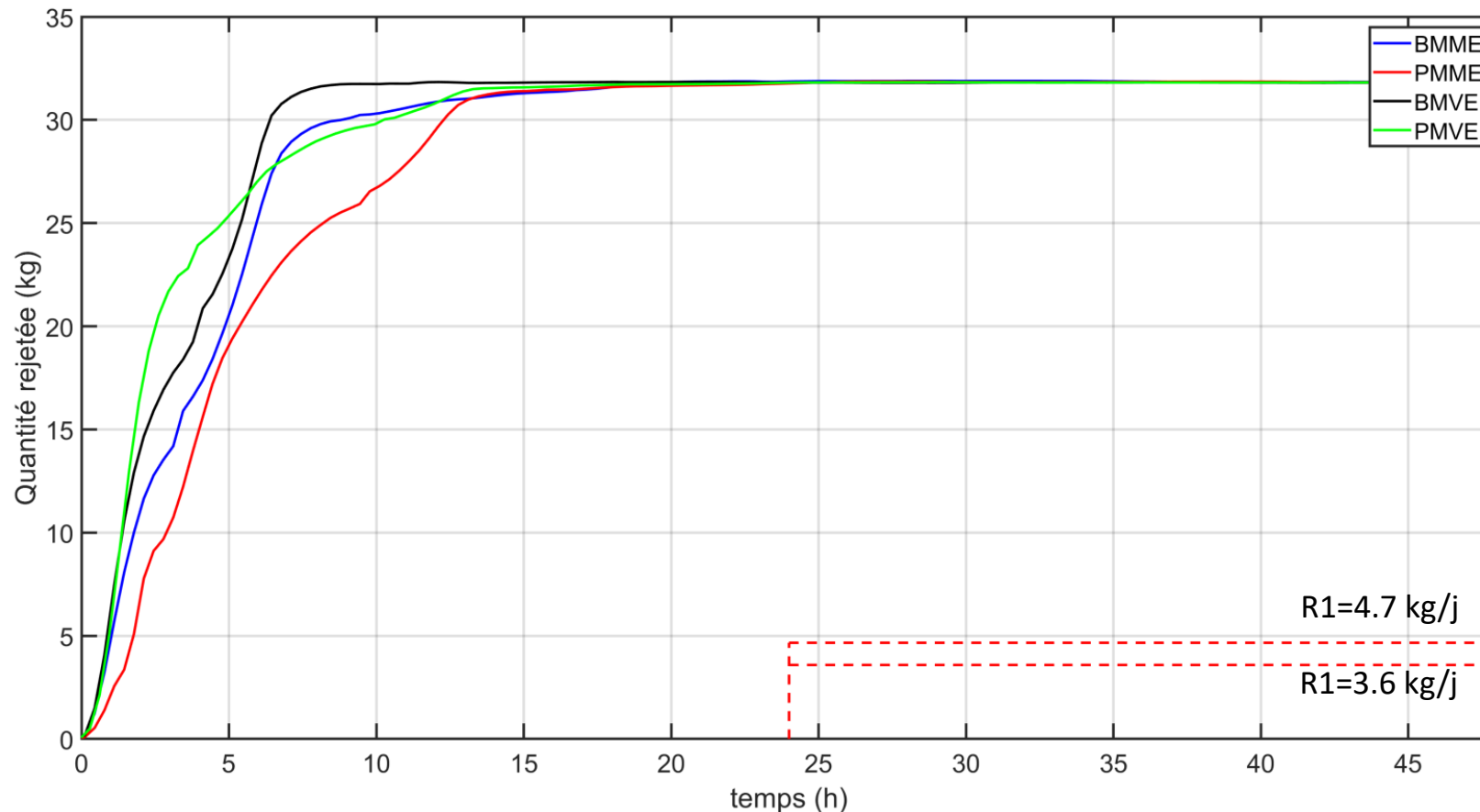
Pour le canal de Caronte, un débit de $65 \text{ m}^3/\text{s}$ est retenu en condition de morte-eau. Soit une valeur **R1 de 4.7 kg/j** .

Le débit moyen de la darse vers le canal est d'environ $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$.



4.5.4 Calcul des flux sortants et comparaison aux seuils R1

Si l'on considère une mise en contact de la darse avec le canal de façon instantanée, alors les flux massiques dépassent largement les valeurs de R1 calculés. En effet, les flux massiques modélisés de la darse vers le canal indiquent qu'au bout de 24h, l'arsenic présent initialement dans la darse s'est (quasiment) intégralement dispersé dans le canal. Pour respecter le seuil R1, il faudrait que la mise en eau soit plus progressive, sur une période de 10j environ, les flux massiques du premier jour étant 10 fois trop élevés. **L'approche du calcul des flux en considérant une mise en contact instantanée est donc non conclusive.**



BM : Basse-mer
PM : Pleine-mer
ME : morte-eau
VE : vive-eau

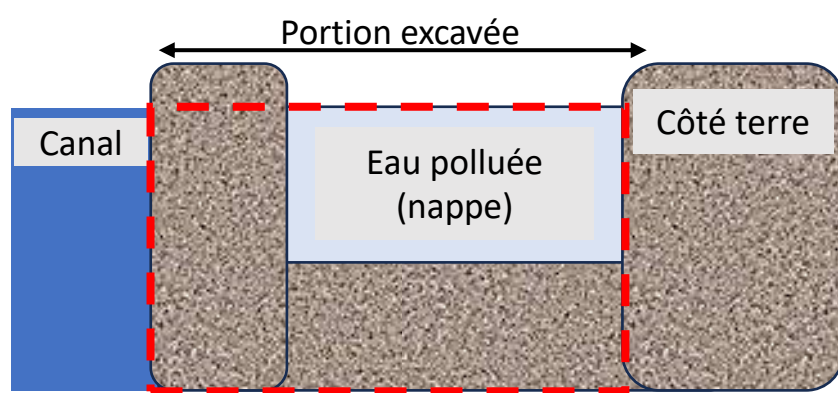
4.5.5 Calcul des flux sortants et comparaison aux seuils R1 avec prise en compte de la durée des travaux

L'approche en considérant une mise en contact de la darse de façon instantanée n'étant pas conclusive, l'aspect progressif des travaux est considéré, afin d'estimer la portion de la darse pouvant être creusée et mise en contact avec le canal chaque jour, tout en respectant le seuil R1.

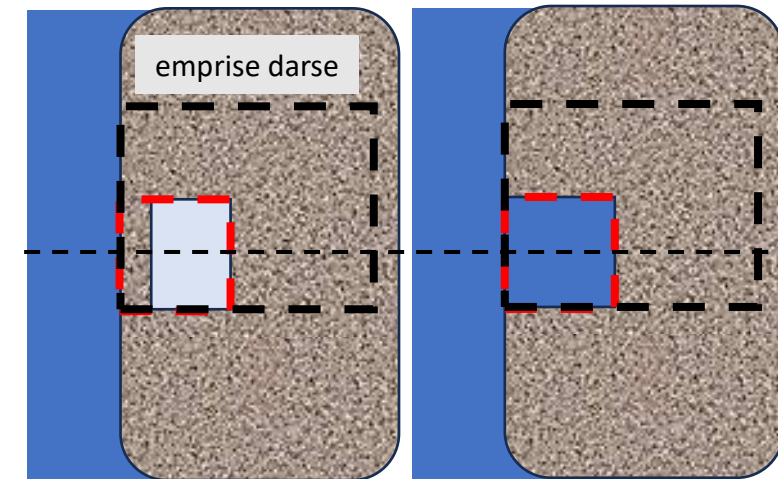
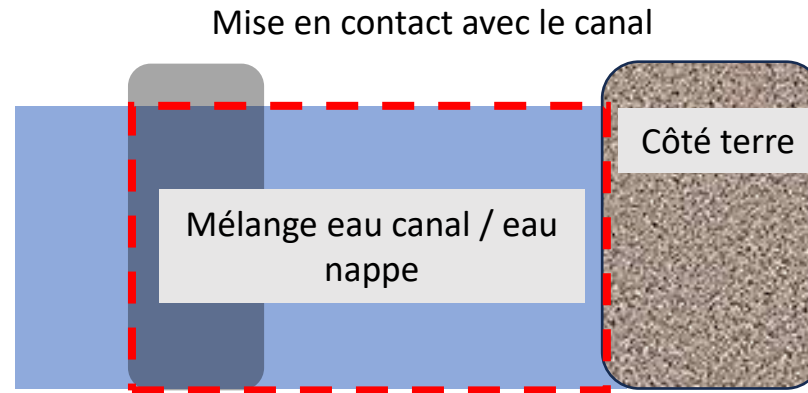
Lors du décaissement, le niveau dans la section creusée s'équilibre avec le niveau dans le canal, même si les sections ne sont pas mises en contact. Il a été considéré ici que l'eau de remplissage est en fait celle de la nappe, et donc que les concentrations en constituants sont celles mesurées dans la nappe.

Lors de la mise en contact de cette portion décaissée, une certaine quantité correspondant à une fraction du volume total de la darse (cadres en tirets rouges sur le schéma) va être mise en contact avec le canal.

Afin de prendre en compte le caractère progressif des travaux, 2 nouvelles simulations SCHISM ont été effectuées, correspondant au début et à la fin de la phase de travaux, soit avec la darse à peine creusée et complètement creusée, avec une quantité d'arsenic correspondant à 10% de la quantité totale (valeur choisie ici en accord avec les calculs de flux précédents).



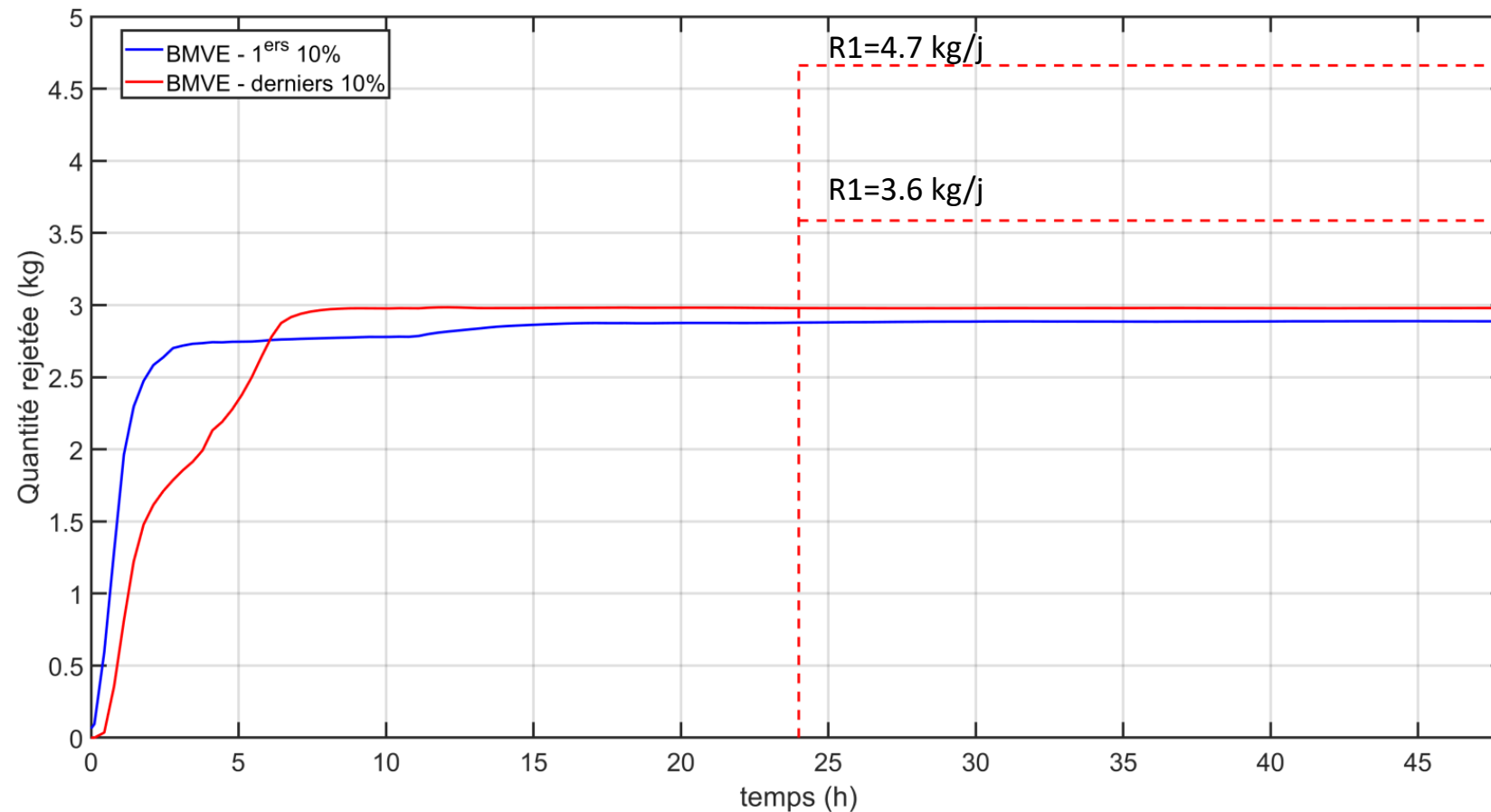
Vue en coupe selon la ligne en pointillés noirs



Vue de dessus

4.5.5 Calcul des flux sortants et comparaison aux seuils R1 avec prise en compte de la durée des travaux

Les résultats des simulations correspondant au début et à la fin de la phase des travaux avec à chaque fois une mise en contact lors de la basse-mer pendant une période de vive-eau (cas le plus conservatif), en considérant une avancée de 10% de la surface totale du projet, indiquent que les flux massiques journaliers sont en-dessous des seuils R1 calculés.



4.5.5 Calcul des flux sortants et comparaison aux seuils R1 avec prise en compte de la durée des travaux

De manière générale, le « nettoyage » de la darse se faisant très rapidement (~15h pour la darse entière), il est possible de calculer le volume maximum que l'on peut décaisser quotidiennement pour respecter le seuil R1.

En effet, pour un volume décaissé sous le niveau moyen V_0 on obtient à la place un volume V_0 d'eau de la nappe à une concentration C_0 , la masse de constituant est donc $V_0 C_0$.

Pour respecter le seuil R1, en considérant que la darse est nettoyée en moins de 24h, il faut que $V_0 C_0 < R1$ (*1j).

On peut donc décaisser un volume maximum de $V_0 = R1 * 1j / C_0 = 1565 \text{ m}^3$ soit une surface de 348 m² si l'on considère une profondeur de 4.5m (cote à -4m CM et niveau moyen à +0.5m CM).

Les modélisations permettent de vérifier qu'il n'y a pas de risque d'accumulation, le cas le plus défavorable (cas d'un lâcher d'arsenic en fond de darse) ayant été modélisé, et montrant que la darse est « nettoyée » en moins de 10h pour le cas représentant un décaissement de 10% et en moins de 15h pour le cas avec mise en contact instantanée de la totalité de la darse.

4.5.6 Calcul des débits de pompage

La mise en place d'un système de pompe entre le canal et la darse permet de contrôler efficacement le flux massique rejeté dans le canal, pour s'assurer de rester sous le seuil R1. L'eau « contaminée » de la darse est vidangée vers le canal, ce qui est compensée par un apport d'eau « propre » du canal vers la darse. Le système se fait donc à volume constant, et la concentration en constituant dans la darse diminue progressivement.

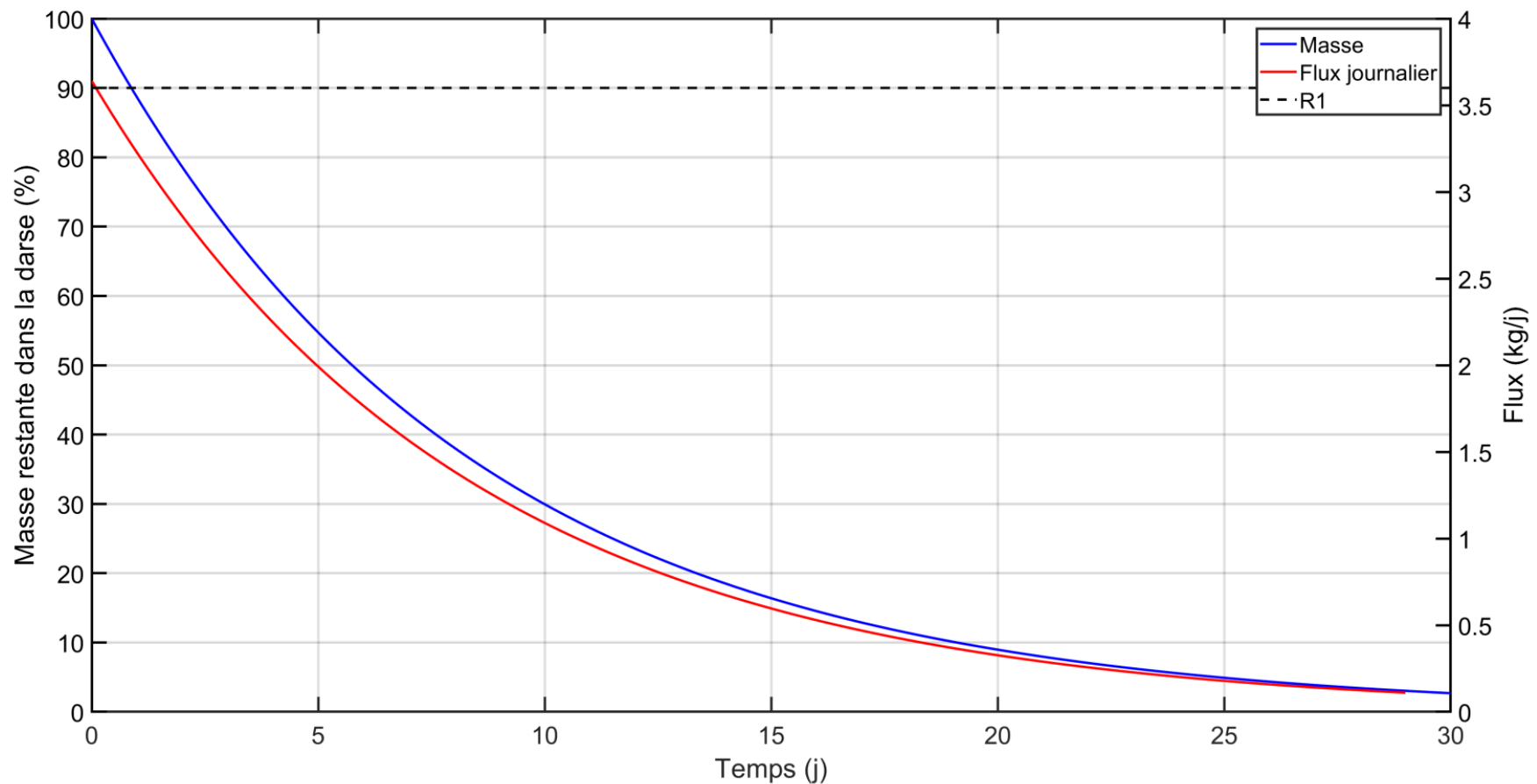


Avec une quantité initiale de 32.4 kg d'arsenic initialement dans la darse, il faudrait 9 jours de vidange en respectant le R1 (3.6 kg/j) pour évacuer tout l'arsenic.

Le respect du R1 lors du premier jour (moment avec la plus forte concentration) impose un débit maximum. Si le pompage se fait à débit constant durant toute la durée des travaux, le flux massique va diminuer à mesure que la concentration en arsenic diminue, ce qui implique un temps de pompage nécessaire pour nettoyer complètement la darse plus important que 9 jours.

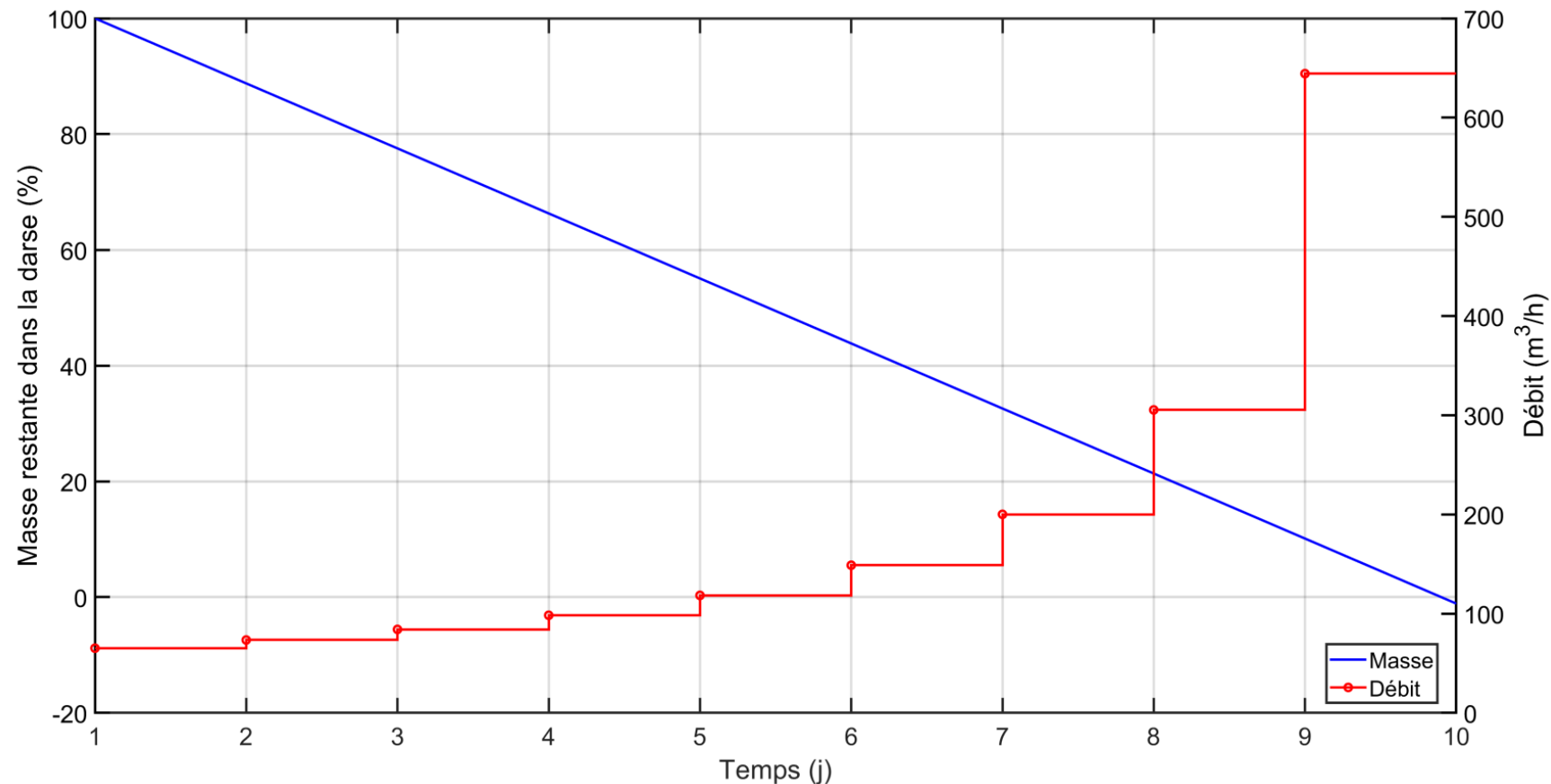
4.5.6 Evolution de la quantité d'arsenic dans la darse – Débit constant

Le graphique présente la masse restante dans la darse à chaque instant, pour une pompe ayant un débit de $\sim 70 \text{ m}^3/\text{h}$, débit maximal possible pour rester sous le seuil R1. La moitié de la quantité d'arsenic présente initialement dans la darse a été évacuée au bout de 5 jours environ, mais les 50% restants sont beaucoup plus longs à éliminer du fait de la baisse de la concentration dans la darse, et du débit fixé de la pompe.



4.5.7 Evolution de la quantité d'arsenic dans la darse – Débit variable

Afin de raccourcir le temps nécessaire à la darse pour être complètement nettoyée, on peut imposer un débit variable à la pompe, pour respecter en permanence le seuil R1. Le débit, en m^3/j , est calculé avec $\text{débit}(t) = R1/C(t)$, ou $C(t)$ est la concentration à un instant t , en kg/m^3 . L'évolution de la masse restante d'arsenic dans la darse et du débit à imposer à la pompe est indiqué sur le graphique. Comme attendu, cette méthode permet de « nettoyer » la darse en 9 jours, avec un débit allant de $65 \text{ m}^3/\text{h}$ le premier jour à $644 \text{ m}^3/\text{h}$ le dernier jour.

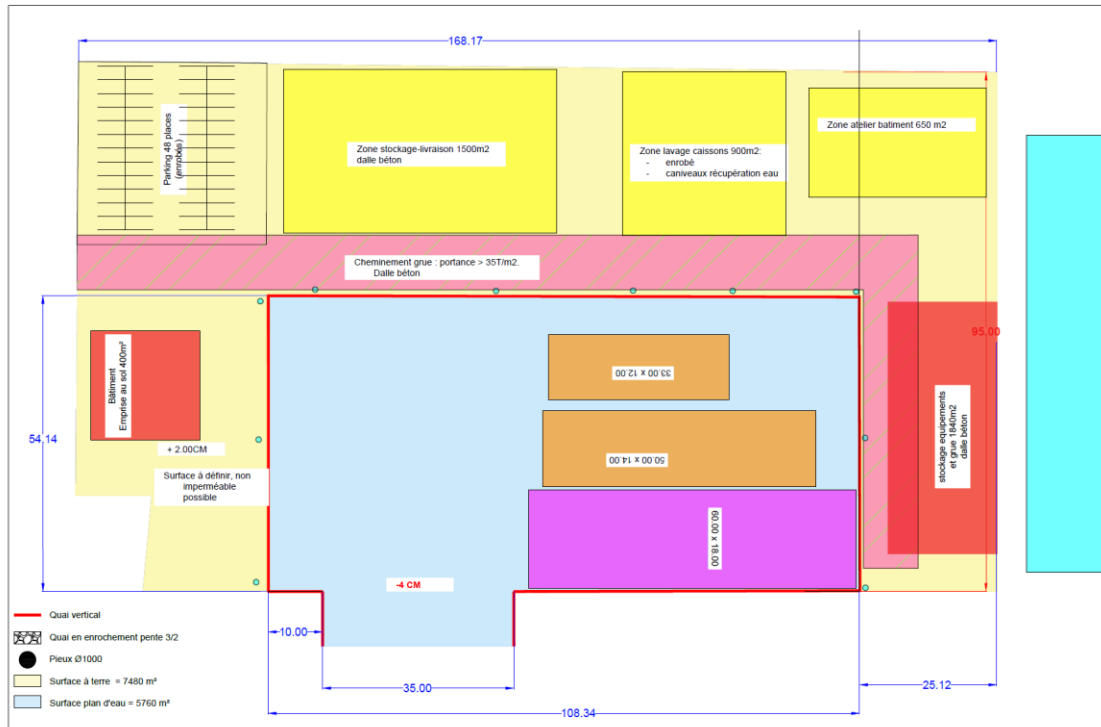


5. Mise à jour des résultats

5.1 Dimensions de la darse

Les résultats précédents sont repris avec les nouvelles dimensions de la darse, et avec la prise en compte des eaux de ressuyage, qui sont initialement contenues dans la porosité des sédiments excavés, et qui seront (en partie) rejetée dans la darse.

La méthodologie reste la même : le volume journalier pouvant être rejeté dans le canal est de $\frac{R1*1j}{C_0} = \frac{3,6}{2300} * 10^6 = 1565 \text{ m}^3 \text{ d'eau}$, mais la durée des travaux augmente nécessairement puisque la surface de la darse augmente, et la prise en compte des eaux de ressuyage augmente encore le volume d'eau à rejeter dans le canal.



Nouvelles dimensions prises en compte :

Surface : 5877 m² (contre 3096 m² avec la v0)

Profondeur : 4.5 m

Volume (sous le niveau moyen) : 28253 m³ (contre 14 000 m³ avec la v0)

Volume eau de ressuyage : $28253 * 10\% = 2825 \text{ m}^3$ (en considérant que le sédiment va rendre 10%, un sédiment totalement sec n'étant possible qu'à l'étuve)

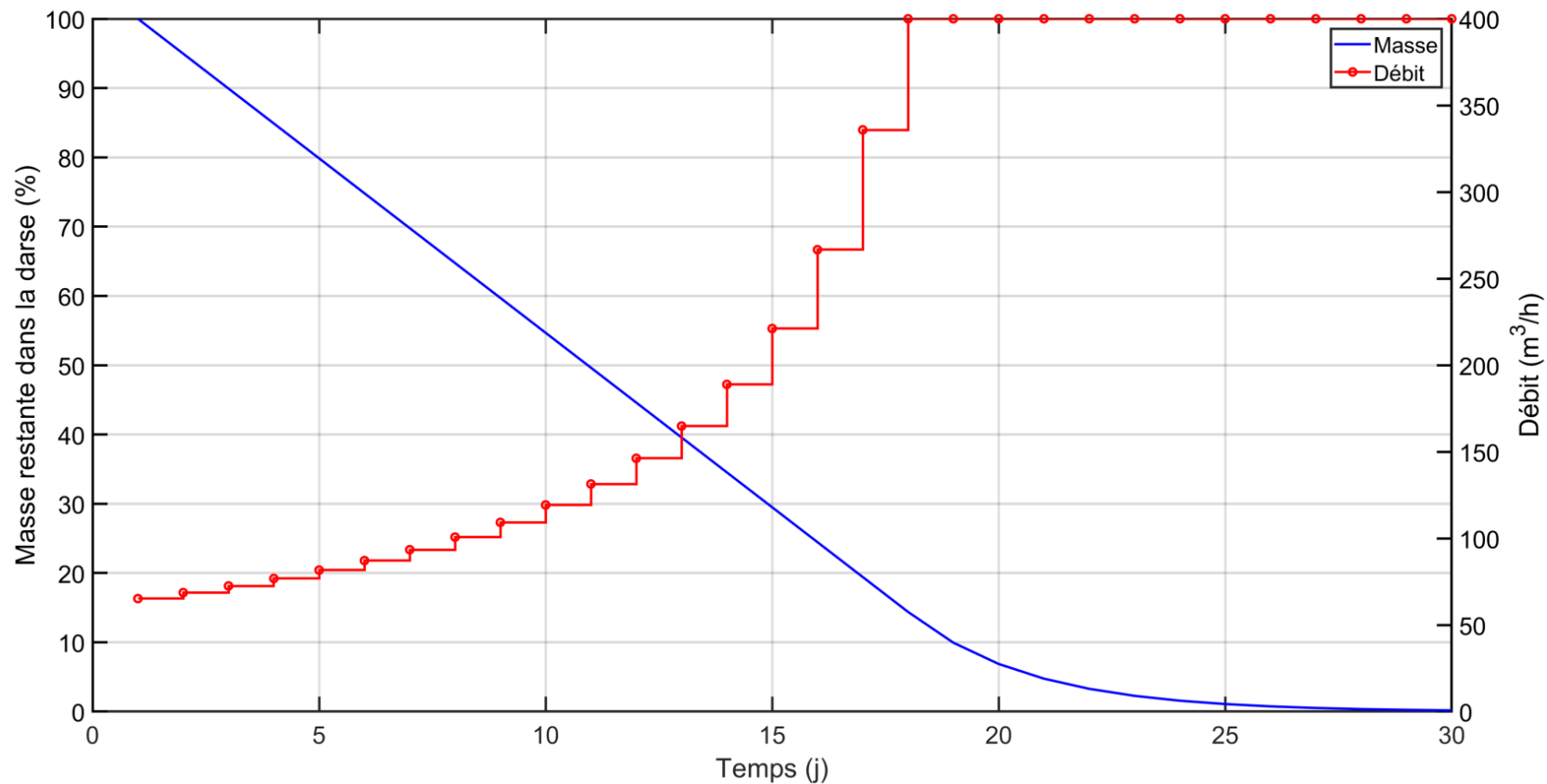
Soit un volume total à rejeter dans le canal de 31078 m³.

En considérant un volume maximal journalier de 1565 m³, cela représente une durée de rejet de ~20 jours.

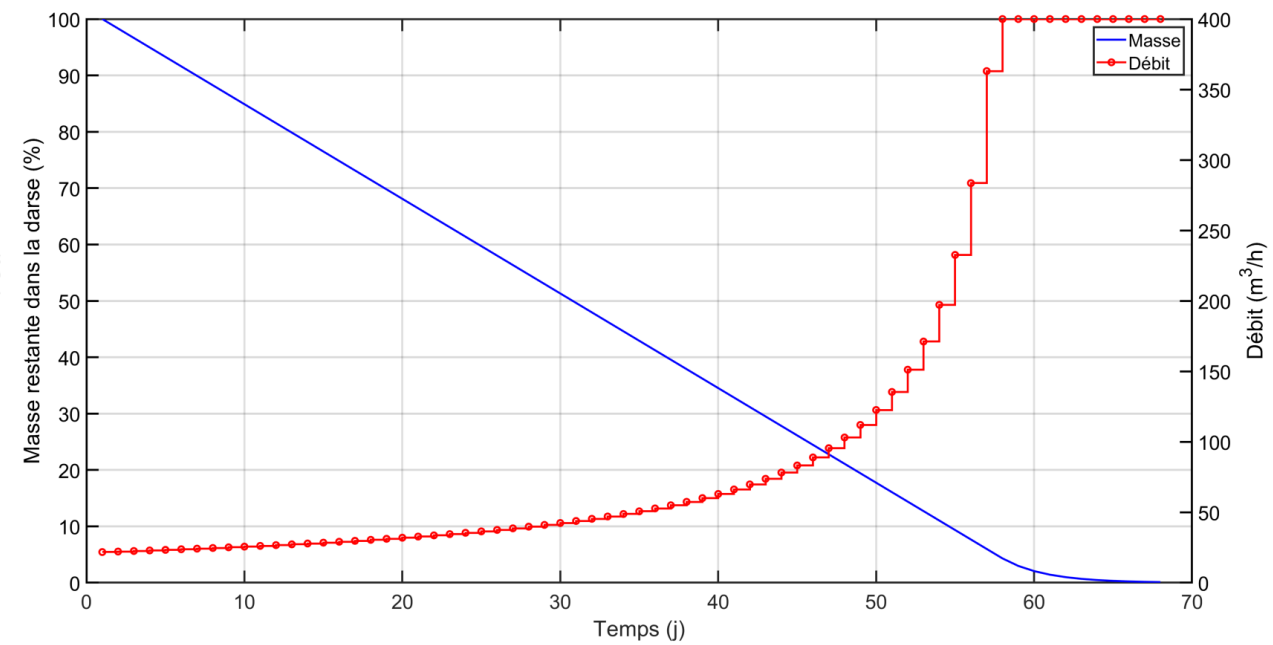
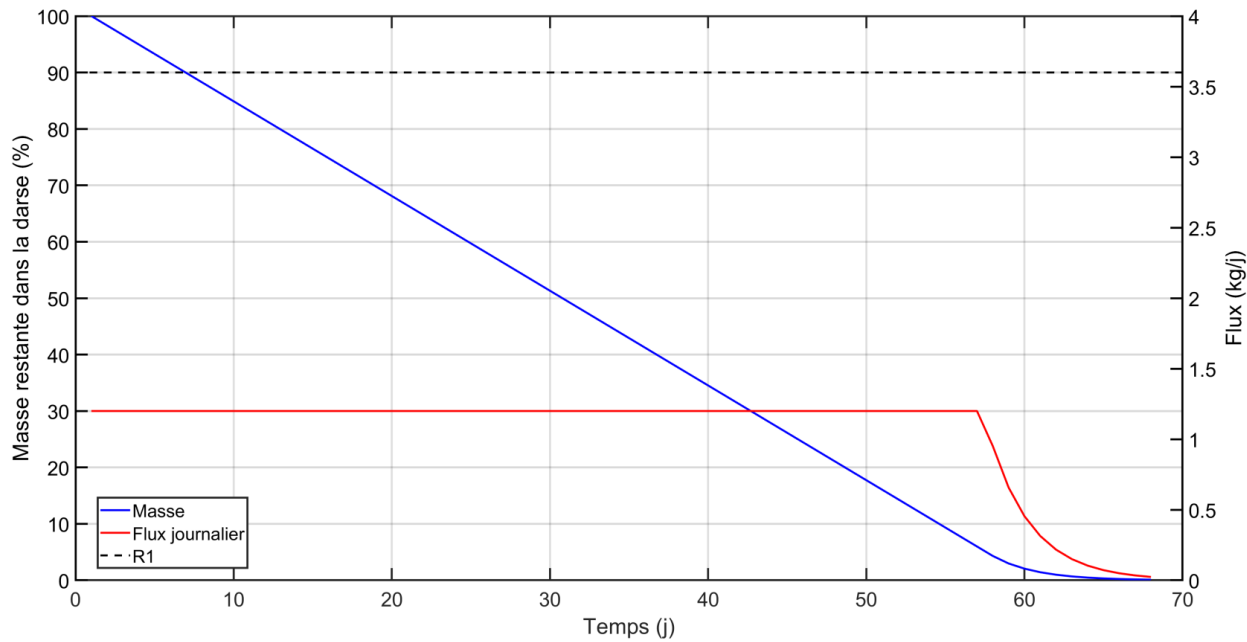
Projet v2 tel que transmis le 05/01/2026

5.2 Durée de vidange avec une pompe à débit variable

En plafonnant le débit de la pompe à $400 \text{ m}^3/\text{h}$ pour limiter la turbidité (débit à vérifier), la darse peut être mise en contact avec le canal au bout de 21 jours, avec un flux massique journalier correspondant au seuil R1.



En plafonnant le débit de la pompe à 400 m³/h pour limiter la turbidité (débit à vérifier) et en gardant un facteur 3 par rapport au seuil R1 (3.6 kg/j), la darse peut être mise en contact avec le canal au bout de 64 jours.



5.2 Durée de vidange avec une pompe à débit variable pour différents coefficients de sécurité

L'application d'un coefficient de sécurité au R1 est souvent nécessaire pour garantir le bon respect des normes. Ce coefficient va automatiquement allonger les durées de vidange de la darse, et donc retarder le moment de la mise en contact de la darse avec le canal.

Le tableau suivant donne les durées de vidange/pompage en fonction du coefficient de sécurité choisi, et du débit maximal de la pompe.

Par exemple, avec un coefficient de 3 (qui est le minimum d'après CISMA), et un débit maximal de 400 m³/h, la durée de pompage est de 64 jours.

Durées de pompage (en jours) en fonction du débit maximal de la pompe et du coefficient de sécurité

Coefficient de sécurité	Débit maximal de la pompe (m ³ /h)		
	100	200	400
1	40	26	21
2	69	50	43
3	94	72	64
5	140	115	105
10	248	218	206

6. Synthèse et conclusions des modélisations

Afin d'analyser la dispersion de polluants liés à la mise en contact de la darse avec le canal de Caronte, une configuration 3D du modèle hydrodynamique SCHISM a été mise en place et validée par des mesures de courant in-situ.

Projet v0 :

La modélisation de la dispersion de l'arsenic indique qu'à l'exception de la darse, la concentration en arsenic n'est au-dessus du taux légal que pendant quelques heures (<10h) et uniquement dans le canal proche de la zone de projet, le temps que l'hydrodynamisme local disperse l'affluent. Dans l'étang de Berre, la concentration maximale atteint un pic d'environ 0.6 µg/L environ 11h après l'ouverture de la darse pour ensuite redescendre sous les 0.25 µg/L 30h après. Ces valeurs correspondent à des conditions de vive-eau, pour une ouverture de darse à marée basse.

Au regard du seuil R1, la mise en contact de la darse une fois creusée avec le canal de façon instantanée ne permet pas de respecter le seuil R1. En effet, la darse est entièrement nettoyée en moins de 24h, ce qui implique donc des flux massiques trop importants.

Projet v2 :

Un décaissement progressif de 350 m² sur 4.5 m d'épaisseur (1565 m³) journalier, avec une mise en eau de la partie décaissée chaque jour, permet de s'assurer que le flux massique respecte bien le seuil R1. Cela représente donc une période de 20 jours pour atteindre les ~5900 m² prévus pour la darse.

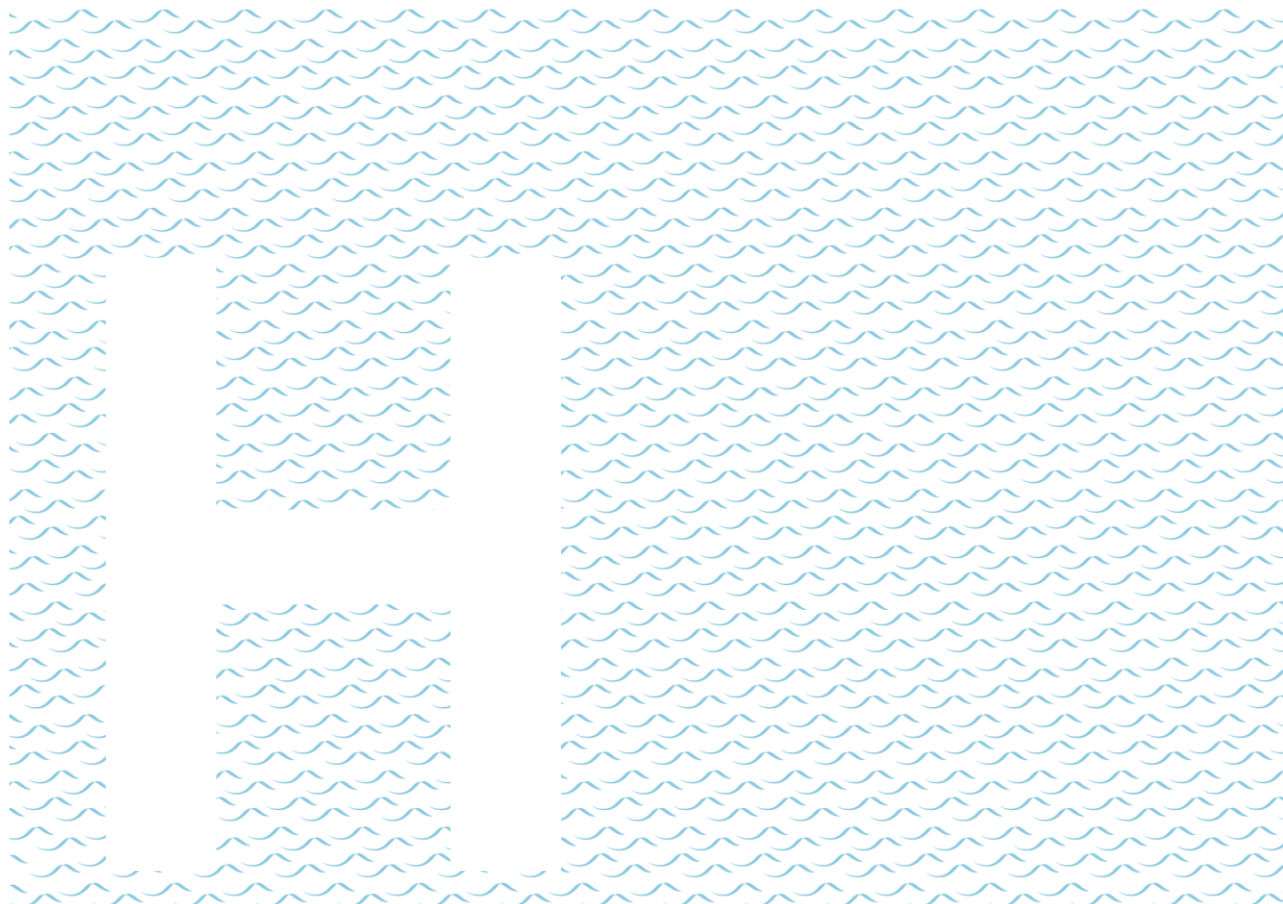
Dans le cas de la mise en œuvre d'un système de pompage, le respect du seuil R1 impose un débit de pompage assez faible au début (~70 m³/h), lorsque les concentrations sont les plus élevées.

En ajustant le débit chaque jour pour être au plus proche du seuil R1, l'arsenic présent initialement dans la darse est totalement évacué en 30 jours, avec un débit maximal fixé à 400 m³/h.

A noter que ces résultats présentent un cas où le R1 est strictement respecté, sans coefficient de sécurité. Un coefficient de sécurité imposerait une durée de vidange de 43 jours.

Annexe H :

Etude hydraulique du projet (AE Ingénierie, 2026)



NOTICE HYDRAULIQUE

GESTION ET TRAITEMENT DES EAUX PLUVIALES

Phase AVP – Aménagement future agence OCELIAN– Port de Bouc (13)

PROJET	Aménagement d'une activité portuaire industrielle
Localisation	Port de Bouc (13)
Phase	APS – Avant-Projet Sommaire
Objet de la notice	Notice hydraulique EP
Contrainte réglementaire	PLU de Port de Bouc
Rédacteur	Bureau d'études AE Ingénierie <i>Réf : 20260512_Notice hydraulique_Ind0</i> <i>Date : 18/05/2026</i> <i>Indice : 0 Première diffusion</i>



Table des matières

1.	OBJET ET PÉRIMÈTRE DE LA NOTICE	3
2.	DONNÉES GÉNÉRALES DU PROJET	3
2.1	Localisation.....	3
2.2	Données climatiques et pluviométriques	4
2.3	Coefficients de ruissellement retenu par zone	4
3.	CALCUL DES DÉBITS DE RUISSÈLEMENT	5
3.1	Méthode de calcul.....	5
3.2	Vérification du temps de concentration	5
3.3	Débits de pointe par zone – T10, i = 70 mm/h, durée 30 min	5
4.	CALCUL DES RUISSÈLEMENTS.....	6
4.1	Méthode	6
4.2	Volumes par zone	6
5.	PRE-DIMENSIONNEMENT DES DÉCANTEURS LAMELLAIRES Zone 1 à Zone 3.....	6
5.1	Rappel de la méthode (théorie de Hazen)	6
5.2	Dimensionnement par zone traitée.....	6
5.3	Volume de stockage en cas de pollution accidentelle.....	7
6.	RÉSEAU D'EAUX PLUVIALES – ZONES Z4 À Z9.....	7
6.1	Principes d'organisation.....	7
6.2	Dimensionnement des collecteurs.....	7
6.3	Vérification de la vitesse d'autocurage	7
7.	SYNTHÈSE HYDRAULIQUE DU SITE	8
7.1	Bilan des débits et volumes	8
7.2	Conformité réglementaire	8
7.3	Études complémentaires à mener	8
8.	CONCLUSION	9

1. OBJET ET PÉRIMÈTRE DE LA NOTICE

La présente notice hydraulique concerne le projet d'aménagement de la future agence OCELIAN sur la commune de Port de Bouc (Bouches-du-Rhône, 13), phase AVP.

Elle s'inscrit en complément de la notice de justification des choix techniques portant sur les décanteurs lamellaires des zones Z1, Z2 et Z3.

2. DONNÉES GÉNÉRALES DU PROJET

2.1 Localisation

Le site est situé en bordure du canal de Caronte dans une zone portuaire. L'environnement du projet est en milieu marin, ce qui conditionne les prescriptions en matière de qualité des rejets et des fournitures à mettre en œuvre.

La surface du projet est de 9219m².

Le traitement de la gestion pluvial a été établi sur 9 secteurs ou zones nouvellement aménagé, puis traité selon leur mode de rejet :

- Zones Z1 , Z2, Z3 (3320 m²) : eaux pluviales traitées par décanteur(s) lamellaire(s) avant rejet dans le milieu naturel (darse).
- Zones Z4 à Z9 (5899 m²) : eaux pluviales en rejet direct.
- Sable stabilisé renforcé (Z8) : C = 0,40 – perméabilité partielle, ruissellement différé



- Zones filtrées avant rejet
- Zones en rejet direct

2.2 Données climatiques et pluviométriques

Les paramètres pluviométriques sont issus de la station Météo-France la plus proche (Martigues / Fos-sur-Mer). La formule de Montana est utilisée pour caractériser l'intensité de la pluie de projet :

$$i(t) = a \times t^b \text{ avec } a \approx 5,50 \text{ et } b \approx 0,40 \text{ (régime méditerranéen, T10)}$$

Durée	i T10 (mm/h)	i T30 (mm/h)	Usage
15 min	≈ 95	≈ 115	Évén. qualité PLU (dimensionnement décanteurs)
30 min	≈ 70	≈ 85	Référence dimensionnement réseau (retenu AVP)
60 min	≈ 48	≈ 58	Vérification volume ruisselé total

Valeur retenue pour le dimensionnement AVP : $i = 70 \text{ mm/h}$ (T10, 30 min). Conforme aux prescriptions du PLU de Port de Bouc (événement 15 min–1 h).

2.3 Coefficients de ruissellement retenu par zone

Les coefficients de ruissellement sont affectés selon la nature du revêtement conformément aux références du guide Cerema

Zone	Usage	S (m²)	Nature revêtement	C
Z1	Stockage matériel	1520	Enrobé / béton	0.85
Z2	Aire de lavage haute pression	900	Béton étanche	0.95
Z3	Stockage matériel	900	Enrobé / béton	0.85
Z4	Stationnement	1095	Enrobé	0.85
Z5	Quai	2044	Béton	0.9
Z6	Atelier	650	Bâtiment (toiture)	0.9
Z7	Bureau	400	Bâtiment (toiture)	0.9
Z8	Surface stabilisée	1245	Sable stabilisé renforcé	0.4
Z9	Ext. Atelier	465	Enrobé	0.85
TOTAL	9 zones	9219	—	C moy = 0.82

Note sur les coefficients retenus :

- Enrobé / béton (Z1, Z3, Z4, Z9) : $C = 0,85$ – surface imperméable avec porosité résiduelle légère
- Béton étanche (Z2, Z5) : $C = 0,90$ à $0,95$ – surface imperméable, pente $> 1 \%$
- Bâtiment / toiture (Z6, Z7) : $C = 0,90$ – couverture imperméable, chéneaux et descentes EP
- Sable stabilisé renforcé (Z8) : $C = 0,40$ – perméabilité partielle, ruissellement différé

3. CALCUL DES DÉBITS DE RUISSELLEMENT

3.1 Méthode de calcul

Le débit de pointe ruisselé est calculé par la méthode rationnelle, applicable aux bassins versants de petite taille ($S < 5$ ha) à temps de concentration inférieur à la durée de la pluie de projet :

$$Q \text{ (l/s)} = C \times i \text{ (mm/h)} \times S \text{ (m}^2\text{)} / 3\,600$$

Avec :

- C = coefficient de ruissellement sans dimension
- i = intensité de la pluie de projet en mm/h
- S = surface active drainée en m^2
- 3 600 = facteur de conversion ($1 \text{ mm/h} \times 1 \text{ m}^2 = 1/3600 \text{ l/s}$)

3.2 Vérification du temps de concentration

Le temps de concentration est estimé par la formule de Kirpich adaptée aux surfaces urbaines aménagées :

$$t_c \text{ (min)} = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{(-0,385)} \quad (L \text{ en m, pente } S \text{ en m/m})$$

Pour les zones les plus étendues ($Z1 = 1\,520 \text{ m}^2$, L estimée $\approx 50 \text{ m}$, pente $\approx 1 \%$), le temps de concentration est de l'ordre de 5 à 8 minutes, très inférieur à la durée de la pluie de projet (30 min). La méthode rationnelle est donc valide pour l'ensemble des zones.

3.3 Débits de pointe par zone – T10, $i = 70 \text{ mm/h}$, durée 30 min

Zone	Usage	S (m ²)	C	i (mm/h)	Q30 (l/s)	Q60 (l/s)	Filière
Z1	Stockage matériel	1520	0.85	70	25.1	17.2	Filtration par décanteur avant rejet
Z2	Aire de lavage haute pression	900	0.95	70	16.6	11.4	Filtration par décanteur avant rejet
Z3	Stockage matériel	900	0.85	70	14.9	10.2	Filtration par décanteur avant rejet
Z4	Stationnement	1095	0.85	70	18.1	12.4	Direct
Z5	Quai	2044	0.9	70	35.8	24.5	Direct
Z6	Atelier	650	0.9	70	11.4	7.8	Direct
Z7	Bureau	400	0.9	70	7.0	4.8	Direct
Z8	Surface stabilisée	1245	0.4	70	9.7	6.6	Direct
Z9	Ext. Atelier	465	0.85	70	7.7	5.3	Direct
Z1–Z3	Zones traitées	3320	0.88	70	56.6	38.8	—
Z4–Z9	Zones directes	5899	0.78	70	89.6	61.4	—
TOTAL	9 zones	9219	0.82	70	146.2	100.3	—

C moyen pondéré global = 0.82 | Q total de pointe T10/30 min = 146.2 l/s | Q total T10/60 min = 100.3 l/s

4. CALCUL DES RUISSELLEMENTS

4.1 Méthode

Le volume ruisselé est calculé pour deux durées correspondant aux événements de projet du PLU (15 min à 1 h) selon la formule :

$$V \text{ (m}^3\text{)} = C \times (i / 1\,000) \times S \times (d / 60) \text{ avec } d \text{ en minutes, } i \text{ en mm/h, } S \text{ en m}^2$$

4.2 Volumes par zone

Zone	Usage	S (m²)	C	V 15 min T10 (m³)	V 30 min T10 (m³)	V 60 min T10 (m³)	Filière
Z1	Stockage matériel	1520	0.85	30.7	45.2	62.0	Traité
Z2	Aire de lavage haute pression	900	0.95	20.3	29.9	41.0	Traité
Z3	Stockage matériel	900	0.85	18.2	26.8	36.7	Traité
Z4	Stationnement	1095	0.85	22.1	32.6	44.7	Direct
Z5	Quai	2044	0.9	43.7	64.4	88.3	Direct
Z6	Atelier	650	0.9	13.9	20.5	28.1	Direct
Z7	Bureau	400	0.9	8.6	12.6	17.3	Direct
Z8	Surface stabilisée	1245	0.4	11.8	17.4	23.9	Direct
Z9	Ext. Atelier	465	0.85	9.4	13.8	19.0	Direct
TOTAL	9 zones	9219	—	178.7	263.2	361.0	—

$i(15 \text{ min, } T10) \approx 95 \text{ mm/h}$ | $i(30 \text{ min, } T10) \approx 70 \text{ mm/h}$ | $i(60 \text{ min, } T10) \approx 48 \text{ mm/h}$ – Source Montana, Station Martigues

5. PRE-DIMENSIONNEMENT DES DÉCANTEURS LAMELLAIRES Zone 1 à Zone 3

5.1 Rappel de la méthode (théorie de Hazen)

Le dimensionnement de la Surface Équivalente de Décantation (SED) repose sur la vitesse de sédimentation imposée par le PLU ($V_s = 0,8 \text{ m/h}$ pour particules $< 50 \mu\text{m}$) selon la relation de Hazen, développée en unités pratiques :

$$SED \text{ (m}^2\text{)} = Q \text{ (l/s)} \times 3,6 / V_s \text{ (m/h)} = Q \text{ (l/s)} \times 4,5 \text{ [pour } V_s = 0,8 \text{ m/h]}$$

Le facteur 3,6 est le produit des conversions d'unités : $0,001 \text{ m}^3/\text{l} \times 3\,600 \text{ s/h}$. La valeur 4,5 est le coefficient figé pour $V_s = 0,8 \text{ m/h}$ propre à ce projet.

5.2 Dimensionnement par zone traitée

Zone	Usage	S (m²)	Q30 (l/s)	V_s (m/h)	SED (m²)	SED majorée +20%	Type ouvrage
Z1	Stockage matériel	1520	25.1	0,8	113.0	135.5	Type 1 –
Z2	Aire de lavage haute pression	900	16.6	0,8	74.7	89.6	Type 3
Z3	Stockage matériel	900	14.9	0,8	67.0	80.5	Type 1 ou 2

La SED majorée de 20 % constitue la valeur de commande à soumettre aux fabricants en phase APD. Le coefficient de majoration intègre les pertes de charge liées à la distribution de l'écoulement sur les lamelles et les tolérances de fabrication.

5.3 Volume de stockage en cas de pollution accidentelle

Chaque décanteur lamellaire des zones Z1 à Z3 sera équipé d'un regard avec vanne martellière (automatique ou manuelle) permettant un confinement de 30 m³ minimum en cas de pollution accidentelle.

Ce volume est calculé suivant le volume ruisselé en amont de la vanne, en reprenant les volumes résiduels des canalisations et des surfaces.

Zone	Usage	V canalisation	V surface	Confinement prévu (m³)	Vérification
Z1	Stockage matériel	2,21	27,79	30 m³	✓ Volume 30 m³ couvre
Z2	Aire de lavage haute pression	3,63	26,37	30 m³	✓ Volume 30 m³ couvre
Z3	Stockage matériel	1,57	28,43	30 m³	✓ Volume 30 m³ couvre

6. RÉSEAU D'EAUX PLUVIALES – ZONES Z4 À Z9

6.1 Principes d'organisation

Les zones Z4 à Z9 sont drainées par un réseau gravitaire eaux pluviales ayant pour exutoire la darse du projet darse.

Les principes retenus pour le réseau sont les suivants :

- Réseau séparatif : aucun raccordement eaux usées sur le réseau EP
- Écoulement gravitaire par réseau enterré ou surface
- Regards de visite ou grilles normalisés (NF EN 1917 / NF P16-346)
- Ouvrage de sortie aménagé (réservation prévue dans le quai)

6.2 Dimensionnement des collecteurs

Les collecteurs sont dimensionnés en écoulement à pleine section pour le débit de pointe T10/30 min. La formule de Manning-Strickler est utilisée pour relier débit, diamètre et pente :

$$Q = K_s \times A \times R_h^{(2/3)} \times I^{(1/2)} \quad (\text{Strickler}) \quad \text{avec } K_s = 70 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s} \text{ (béton centrifugé)}$$

Zone	Usage	S (m²)	Q30 (l/s)	Pente retenue	Ø min calc. (mm)	Ø retenu (mm)	V pleine section
Z4	Stationnement	1095	18.1	0,5 %	267 mm	DN 300	0.88 m/s
Z5	Quai	2044	35.8	0,5 %	Écoulement en surface	Écoulement en surface	
Z6	Atelier	650	11.4	0,5 %	225 mm	DN 250	0.78 m/s
Z7	Bureau	400	7.0	0,5 %	187 mm	DN 200	0.67 m/s
Z8	Surface stabilisée	1245	9.7	0,5 %	Écoulement en surface	Écoulement en surface	
Z9	Ext. Atelier	465	7.7	0,5 %	Écoulement en surface	Écoulement en surface	

Hypothèse de pente retenue en AVP : 0,5 %. $K_s = 70 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s}$ pour tuyau béton centrifugé. Diamètre minimal retenu DN 200 en tout état de cause.

6.3 Vérification de la vitesse d'autocurage

La vitesse minimale d'autocurage est fixée à 0,60 m/s à débit de temps sec estimé (ruissellement à 1/10 du débit de pointe). Les valeurs calculées à pleine section étant supérieures à 1,0 m/s pour les collecteurs retenus avec une pente de 0,5 %, la condition d'autocurage est satisfaite.

7. SYNTHÈSE HYDRAULIQUE DU SITE

7.1 Bilan des débits et volumes

Paramètre	Z1–Z3 (traitées)	Z4–Z9 (directes)	Total site	Unité
Surface totale	3320	5899	9219	m ²
C moyen pondéré	0.88	0.78	0.82	–
Q pointe T10 / 30 min	56.6	89.6	146.2	l/s
Q pointe T10 / 60 min	38.8	61.4	100.3	l/s
Volume ruisselé – 30 min T10	101.9	161.3	263.2	m ³
Volume ruisselé – 60 min T10	139.7	221.3	361.0	m ³

7.2 Conformité réglementaire

Le tableau ci-après synthétise la conformité du projet aux exigences du PLU de Port de Bouc et aux prescriptions du cahier des charges :

Exigence réglementaire	Disposition retenue	Conformité
Événement traité : 15 min à 1 h	T10 / 30 min retenu – vérifié sur 15 min et 60 min	✓ Conforme
Abattement MES ≥ 80 % (Z1–Z3)	Décanteur lamellaire Vs = 0,8 m/h – performances 85 à 98 %	✓ Conforme
HC ≤ 1 mg/l en sortie (Z1–Z3)	Coalesceur haute performance sur chaque décanteur	✓ Conforme
Vs ≤ 0,8 m/h sur < 50 µm	SED dimensionnée pour Vs = 0,8 m/h sur Q pointe T10	✓ Conforme
Confinement 30 m ³ / ouvrage	Compartiment dédié + vanne auto inox 316L + alarme HC	✓ Conforme
Rejet Z4–Z9 en milieu naturel marin	Rejet direct darse – ouvrage tête de rejet anti-affouillement + clapet marée	✓ Conforme
Résistance milieu salin	Béton XS3 ou PEHD + inox 316L sur pièces métalliques	✓ Conforme

7.3 Études complémentaires à mener

- Levé topographique complémentaire
- Investigations in situ du réseau pluvial existant
- Piézomètres pour caler le niveau de nappe sur chaque zone de décanteur
- Analyse chimique de la nappe : chlorures, sulfates, pH, conductivité – qualification béton et protection cathodique éventuelle
- Étude marée et hydrologie côtière : niveaux hautes mers exceptionnelles (T100) pour confirmer le calage de la cote de rejet

8. CONCLUSION

Le projet représente une surface totale de 9219 m² à traiter.

Le débit de pointe global calculé en T10 / 30 min atteint 146.2 l/s, avec un coefficient de ruissellement moyen pondéré de 0.82.

La gestion des eaux pluviales proposé se présente deux filières :

- Filière traitée (Z1–Z3, 3320 m², 56.6 l/s) : décanteurs lamellaires conformes aux exigences du PLU, avant rejet dans la darse
- Filière directe (Z4–Z9, 5899 m², 89.6 l/s) : réseau gravitaire et surface, avec rejet dans la darse

L'ensemble du dispositif est conforme aux prescriptions réglementaires du PLU et du cahier des charges du projet.