

MODELISATION DE LA SEDIMENTATION D'EFFLUENT DANS LA MARNE



Rapport

Table des matières

I. Objet	3
II. Références	3
III. Prélèvements d'eau dans la Marne	3
1. Mesures de paramètres environnementaux.....	4
2. Débit de la Marne.....	4
IV. Les essais laboratoires	5
V. Planning des essais laboratoires	7
VI. Résultats des essais laboratoires	8
1. Essai 1	8
2. Essai 2	9
3. Essai 3	10
4. Essai 4	11
5. Essai 5	12
6. Essai 6	13
7. Essai 7	14
8. Essai 8	15
9. Essai 9	16
10. Essai 10	17
11. Essai 11	18
12. Essai 12	19
13. Essai 13	20
14. Essai 14	22
15. Essai 15	23
VII. Analyses radiologiques des sédiments	24
VIII. Calcul de la DTI	26
IX. Conclusion	28
Annexe 1	30

I. Objet

La société UNITECH prévoit la création d'une blanchisserie destinée au lavage du linge issu de l'industrie du nucléaire. Cette laverie sera implantée sur le territoire des communes de Suzannecourt et Thonnance-les-Joinville, dans le département de la Haute-Marne.

Le dossier Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (I.C.P.E.) est en phase d'analyse auprès des autorités compétentes.

Dans le cadre du dépôt de dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DAE), les essais laboratoires suivants ont été menés dans le but d'apporter des éléments techniques relatifs au comportement des eaux de procédé rejetées après traitement, notamment lors du mélange de ces dernières dans les eaux de la Marne.

Le protocole d'essai a pour but de suivre, à l'échelle laboratoire, la formation éventuelle d'un floc et/ou d'une sédimentation lors de ce mélange dans plusieurs configurations de régimes fluviaux.

Le test a pour objectif d'identifier et de matérialiser l'apparition dans le temps d'une fraction de densité supérieure (MES) à celle du liquide avec sédimentation de cette fraction.

L'effluent sera mélangé avec de l'eau de la Marne à des taux décroissants de concentration : 1/150, 1/300 et 1/400. Des tests de sédimentation statique (sans agitation) et sous agitation continue ont été réalisés.

II. Références

[1] Données sur les débits et hauteurs d'eau de différentes stations de la Marne, <https://www.vigicrues.gouv.fr/>

[2] Etude de dispersion des effluents dans la Marne – pré-dimensionnement d'une solution de protection, rapport final, Artélia, juin 2017

[3] Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, <https://www.legifrance.gouv.fr/>

[4] Circulaire du 13 juin 2007 relative au contrôle et à la gestion du risque sanitaire liés à la présence de radionucléides dans les eaux destinées à la consommation humaine

[5] La qualité radiologique de l'eau du robinet en France, rapport IRSN, février 2011, <https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/bil0809-2.pdf>

III. Prélèvements d'eau dans la Marne

Afin de réaliser les tests de modélisation de la sédimentation d'effluent en laboratoire, il a été nécessaire de prélever l'eau de la Marne proche du futur point de rejet des effluents.

Le 27 mars 2019, 200 litres d'eau de la Marne ont été prélevés à l'aide d'une pompe électrique et stockés dans des bidons de 20 L. Ils ont été transportés et stockés ensuite dans des conditions permettant leur maintien à une température de 4°C.



Figure 1 Extrait Géoportail : la Marne à Joinville (O point de prélèvement)

1. Mesures de paramètres environnementaux

Lors des prélèvements de l'eau de la Marne, des mesures ont été effectuées sur différents paramètres physico-chimiques (turbidité en NTU (nephelometric turbidity unit), pH, conductivité, oxygène et température) en sortie de pompe.

Pour mémoire :

- NTU < 5 : eau claire
- 5 < NTU < 30 : eau légèrement trouble
- NTU > 50 : eau trouble

Premières mesures au début des prélèvements (8h30) :

Paramètres mesurés	Valeurs	Température mesurée pour chaque sonde
pH	8.7	8.8 °C
Conductivité	482 µS/cm	8.6 °C
Oxygène	12 mg/L	8.7 °C
Turbidité	5.2 NTU	8.9 °C

Tableau 1 Premières mesures physicochimiques au début des prélèvements (8h30)

Deuxièmes mesures au milieu des prélèvements (9h15) :

Paramètres mesurés	Valeurs	Température mesurée pour chaque sonde
pH	8.5	8.7 °C
Conductivité	474.7 µS/cm	8.7 °C
Oxygène	11.8 mg/L	8.7 °C
Turbidité	5.8 NTU	8.5 °C

Tableau 2 Deuxièmes mesures physicochimiques au début des prélèvements (9h15)

Troisièmes mesures à la fin des prélèvements (10h00) :

Paramètres mesurés	Valeurs	Température mesurée pour chaque sonde
pH	8.2	8.7 °C
Conductivité	502.8 µS/cm	8.7 °C
Oxygène	11.7 mg/L	8.7 °C
Turbidité	3.2 NTU	9.2 °C

Tableau 3 Troisièmes mesures physicochimiques au début des prélèvements (10h)

Paramètre Potentiel Redox mesuré sur un échantillon :

Paramètre mesuré	Valeur
Potentiel Redox	216.4 mV

Tableau 4 Potentiel Redox mesuré sur un échantillon

2. Débit de la Marne

Dans un objectif de coller au plus près de la réalité du terrain lors des tests réalisés en laboratoire, il est nécessaire de connaître les caractéristiques physiques de la Marne.

L'analyse des débits est fondée sur l'exploitation des données de Vigicrues, des stations qui encadrent la station limnimétrique de Joinville, pour laquelle il n'y a pas de données sur les débits.

Le 27 mars 2019, le débit de la Marne était le suivant :

Chamouilley (Marne) - Débit - 27/03/2019 10:09



Les observations sont des données brutes non expertisées. Les dates et heures sont en heure locale.

Figure 2 Débit de la Marne le 27 mars 2019 – Station de Chamouilley

Le point de rejet se trouvant entre les stations de Condes (à 54 km de Joinville) et Chamouilley (à 27 km de Joinville), le débit moyen en ce point peut être considéré de 25 m³/s.

Le 27 mars 2019 également, les hauteurs d'eau de la Marne à différentes stations sont les suivantes :

Chamouilley (Marne) - Hauteurs - 27/03/2019 10:09



Les observations sont des données brutes non expertisées. Les dates et heures sont en heure locale.

Figure 3 Hauteur de la Marne le 27 mars 2019 – Station de Chamouilley

Au point de prélèvement, à Joinville, la hauteur d'eau était de 2 mètres.

La vitesse considérée dans le mode opératoire pour un écoulement normal de la Marne est de 0,55 m/s. Ce sont des données issues du dossier réglementaire, qui sont cohérentes avec l'état de la Marne pour le jour et le point du prélèvement.

IV. Les essais laboratoires

Les essais de sédimentation de la Marne en présence ou non des effluents se réalisent dans un réacteur de volume d'environ 5 litres. Le système d'agitation ainsi que la vitesse d'agitation sont étudiés de manière à se rapprocher le plus possible du comportement des turbulences de la Marne. (Annexe 1 : Protocole de la modélisation de la sédimentation d'effluent dans la Marne)

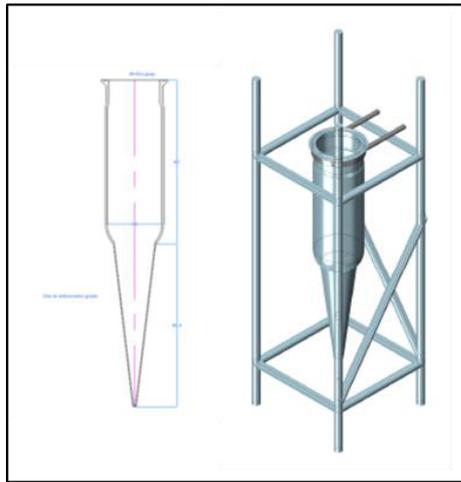
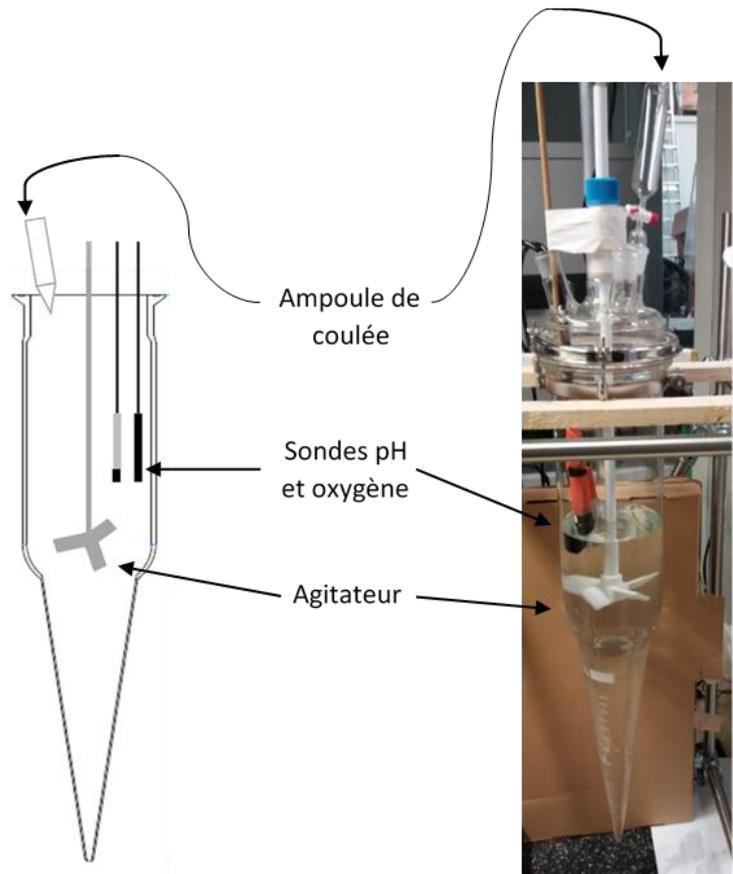


Figure 4 Cuve et cône de sédimentation



Les essais suivants ont été réalisés :

- 3 essais réalisés sur l'eau de la Marne uniquement (sans effluent), selon 3 régimes : statique, transitoire et turbulent (agitation 1000 tours/min)
- 2 essais en régime statique :
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300
- 3 essais en régime transitoire (agitation 30 tours/min) :
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/400
- 2 essais en régime turbulent (agitation 120 tours/min) :
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300
- 2 essais en régime turbulent (agitation 1000 tours/min) :
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300
- 1 essai en régime transitoire (agitation 30 tours/min) pendant 24h, puis en régime statique pendant 24h :
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300
- 3 essais en régime turbulent (agitation 120 tours/min) pendant 24h, puis en régime statique pendant 24h :
 - o Eau Marne
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300
 - o Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/400

Les différentes dilutions étudiées permettent de modéliser la sédimentation dans la Marne suivant différentes périodes : étiage (faible dilution 1/150), normale (dilution moyenne 1/300) et crue (forte dilution 1/400). Les régimes d'agitation modélisent le débit de la Marne au moment du rejet de l'effluent :

- Le régime statique permet de modéliser le comportement de la sédimentation dans la Marne sans perturbation quelconque, il s'agit d'un "blanc"
- Le régime transitoire modélise une période d'étiage dans la Marne
- Le régime turbulent à 120 tours/min modélise une période normale
- Le régime turbulent à 1000 tours/min modélise une période de crue

Les essais d'une durée de 48h permettent de modéliser le parcours entre le point de rejet et l'entrée dans le lac de Der.

Au cours de chaque essai, des photos sont prises en continu afin d'obtenir un film en accéléré de la sédimentation dans le réacteur.

L'effluent utilisé pour ces essais provient d'une blanchisserie existante d'UNITECH (Pays-de-Galles). Ses paramètres sont les suivants :

pH	6.9
Conductivité	220 μ S/cm
Oxygène	5.4 mg/L
Turbidité	3.6 NTU (nephelometric turbidity unit)

Tableau 5 Paramètres physicochimiques des effluents de la blanchisserie UNITECH Pays-de-Galles

V. Planning des essais laboratoires

Un planning a été mis en place afin de respecter un délai de réalisation des essais :

- Du 12/04 au 14/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime transitoire pendant 24h puis régime statique pendant 24h (test 48h)
- Du 15/04 au 16/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime statique
- Du 16/04 au 17/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime turbulent (120 t/min)
- Du 17/04 au 18/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime transitoire
- Du 18/04 au 19/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime turbulent (1000 t/min)
- Du 19/04 au 20/04 : eau Marne, régime transitoire
- Du 20/04 au 21/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime statique
- Du 23/04 au 24/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime turbulent (120 t/min)
- Du 24/04 au 25/04 : eau Marne, régime statique
- Du 25/04 au 26/04 : eau Marne, régime turbulent (1000 t/min)
- Du 26/04 au 27/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime turbulent (1000 t/min)
- Du 27/04 au 28/04 : eau Marne + effluent dilué au 1/400, régime transitoire
- Du 29/04 au 01/05 : eau Marne + effluent dilué au 1/400, régime turbulent (120 t/min) pendant 24h puis régime statique pendant 24h (test 48h)
- Du 03/05 au 05/05 : eau Marne, régime turbulent (120 t/min) pendant 24h puis régime statique pendant 24h (test 48h)
- Du 06/05 au 08/05 : eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime turbulent (120 t/min) pendant 24h puis régime statique pendant 24h (test 48h)

VI. Résultats des essais laboratoires

1. Essai 1

Dates : 12/04 au 14/04/19 (test 48h)

Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime transitoire (30 tours/min) pendant 24h, puis régime statique pendant 24h.

Ce test, d'une durée de 48h, permet de modéliser le parcours de l'effluent rejeté dans la Marne, de son point de rejet jusqu'au point d'entrée dans le lac de Der (considéré sur une durée de 24h). En effet, la distance entre le point de rejet et l'entrée dans le lac de Der est de 44 km, or, la vitesse de la Marne étant de 0,55 m/s, les 24h d'essais sont donc suffisants pour la modélisation de la sédimentation. Puis, le temps de sédimentation de l'effluent dans le lac de Der (considéré également sur une durée de 24h).



- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 10 minutes, sont sédimentés à 90% au bout de 7h et totalement sédimentés au bout de 10 heures de test. A la fin de l'essai, ils atteignent une hauteur de 1,5 cm, correspondant :

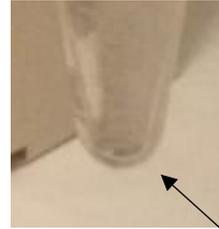
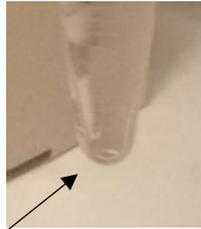
- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,01 %
- **à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).**

Cet essai montre qu'aucune phase particulière ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse inférieure à 0,0003%, aura lieu, à 90% sur 14km, puis les 10% restant jusqu'à 20 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

2. Essai 2

Dates : 15/04 au 16/04/19 (test 24h)

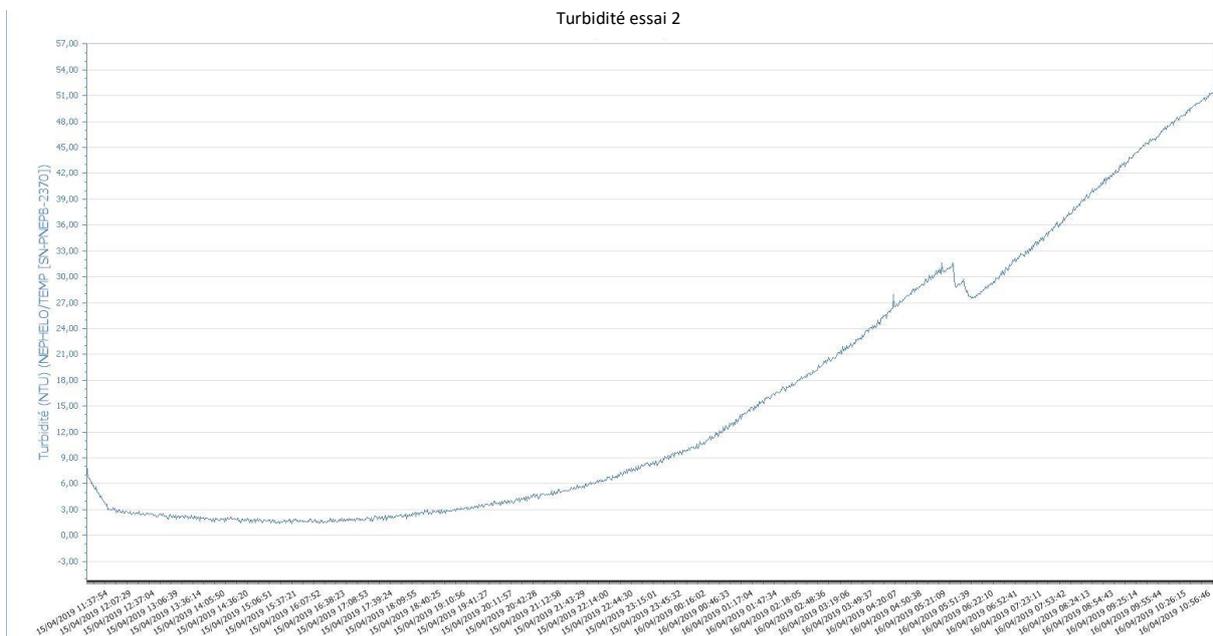
Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime statique



Début du test (15/04/2019)

Fin du test (16/04/2019)

- Suivi turbidité



La turbidité a diminué au début de l'essai, ce qui montre qu'il y a bien eu une sédimentation des MES. Cependant, le 15/04, aux alentours de 17h, la turbidité a augmenté, jusqu'à atteindre près de 50 NTU. Ces résultats ne refléteraient pas la réalité, ils sont probablement dus à la présence de bulles sur la sonde, qui auraient perturbé la mesure.

- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 45 minutes (sédimentation très légère) et à la fin de l'essai, ils atteignent une hauteur de 3 mm, correspondant :

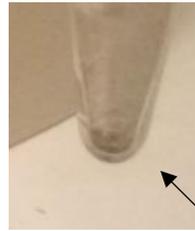
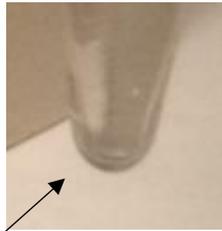
- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,002%,
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

En régime statique, la sédimentation semble moins importante que lorsqu'il y a une agitation. L'absence d'agitation entraîne une sédimentation très lente des MES, qui sont très fines et peu visibles à l'œil nu, donc non quantifiables.

3. Essai 3

Dates : 16/04 au 17/04/19 (test 24h)

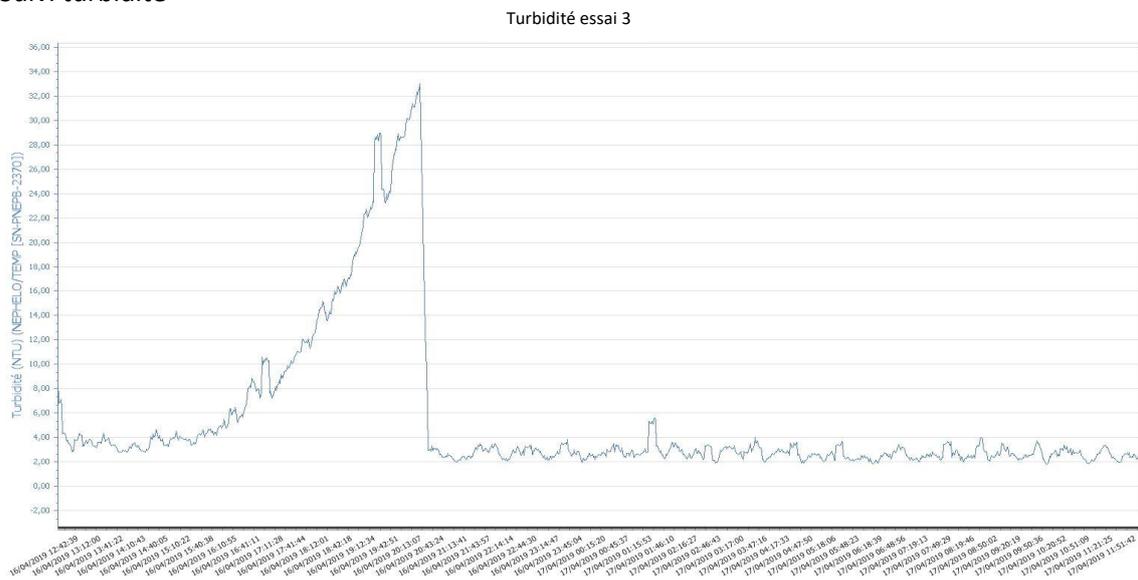
Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime turbulent (120 tours/min)



Début du test (16/04/2019)

Fin du test (17/04/2019)

- Suivi turbidité



La courbe ci-dessus indique la mesure de la turbidité pour cet essai. On observe une baisse de la turbidité très rapidement, puis une forte augmentation, jusqu'à un pic qui diminue brutalement. La turbidité fluctue par la suite, tout en diminuant progressivement.

Cette augmentation de la turbidité puis l'apparition soudaine du pic pourrait s'expliquer par la formation, en surface, d'un floc de MES, qui, au bout d'un certain moment, du fait de sa densité et de son poids, finit par retomber rapidement.

- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 30 minutes, sont sédimentés à 90% au bout de 10h et totalement sédimentés au bout de 19 heures de test. A la fin de l'essai, ils atteignent une hauteur de 5 mm, ainsi qu'un dépôt léger sur l'ensemble de la paroi, sur une hauteur de 2 cm, correspondant:

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,004%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

Le régime turbulent à 120 tours/min est celui qui correspond le plus aux conditions d'agitations normales de la Marne. Les essais avec ce type de régime semblent favoriser une sédimentation légère, ainsi qu'un dépôt léger de sédiments le long de la paroi.

Cet essai montre qu'aucune phase particulière ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse inférieure à 0,0003 %, aura lieu, à 90% sur 20km, puis les 10% restant jusqu'à 37 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

4. Essai 4

Dates : 17/04 au 18/04/18 (test 24h)

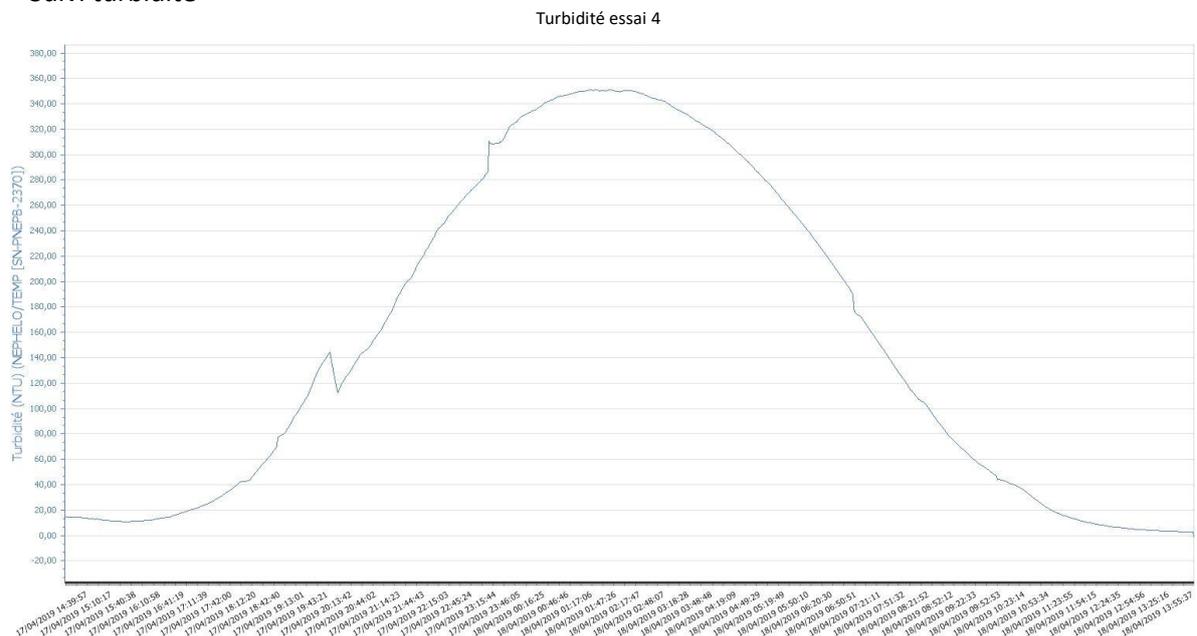
Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime transitoire (30 tours/min)



Début du test (17/04/2019)

Fin du test (18/04/2019)

- Suivi turbidité



Le graphique ci-dessus, indiquant l'évolution de la turbidité en fonction du temps, est une courbe de type gaussienne.

Au début du test, on observe une diminution légère de la turbidité, qui pourrait se traduire par la sédimentation rapide des plus grosses MES. Puis, l'évolution progressive de la turbidité pourrait se traduire par la formation d'un floc en surface, qui, après avoir grossi, décante progressivement. Ce phénomène pourrait alors induire ce type de courbe de suivi de la turbidité.

- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 30 minutes, sont sédimentés à 90% au bout de 3h et totalement sédimentés au bout de 4 heures de test. A la fin de l'essai, ils atteignent une hauteur de 5 mm, correspondant :

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,004%
- **à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).**

Le régime transitoire à 30 tours/min est celui qui correspond à une période d'étiage de la Marne. En présence d'effluent moins dilué, la sédimentation apparaît rapide.

Cet essai montre qu'aucune phase particulaire ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse inférieure à 0,0003 %, aura lieu, à 90% sur 6km, puis les 10% restant jusqu'à 8 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

5. Essai 5

Dates : 18/04 au 19/04/19 (test 24h)

Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime turbulent (1000 tours/min)

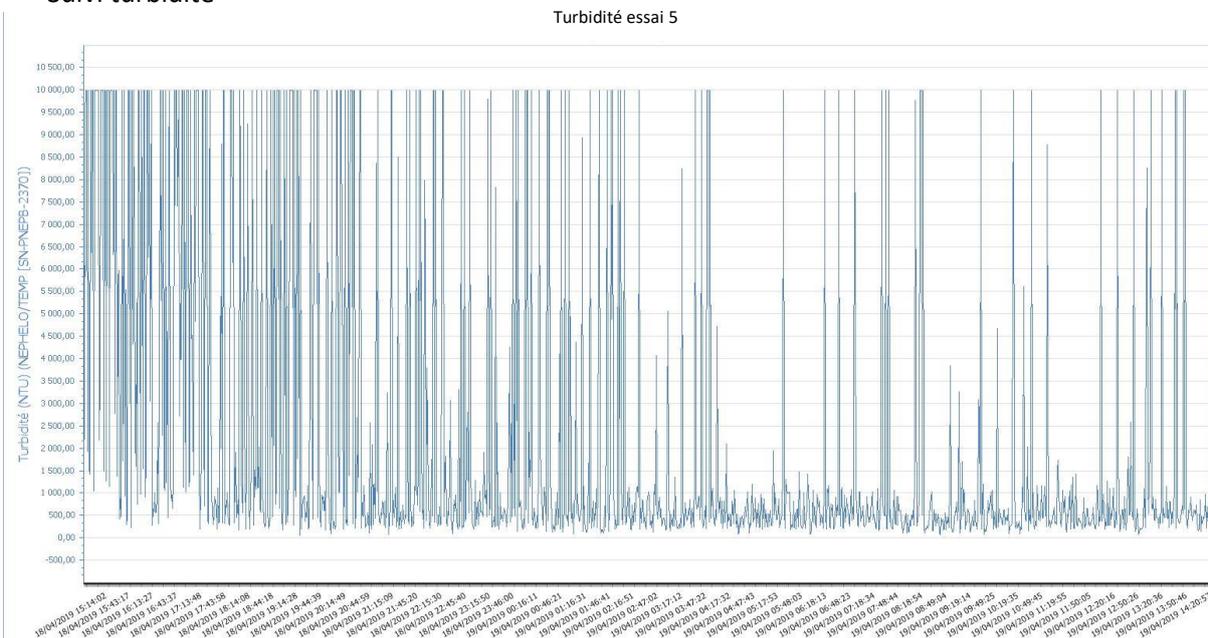


Début du test (18/04/2019)



Fin du test (19/04/2019)

- Suivi turbidité



Le suivi de la turbidité pour cet essai ne fonctionne pas, puisqu'avec ce type d'agitation (1000 tours/min), la sonde ne peut détecter une valeur de turbidité car l'eau de la Marne est en constant mouvement.

- Observations

Avec ce type de régime (turbulent à 1000 tours/min), aucune sédimentation n'est possible.

On observe cependant des suspensions blanches, qui sont dûes à l'usinage de la barre de rotation de l'agitateur, il s'agit donc d'un défaut dans le test et non une conséquence naturelle de la sédimentation.

Le pourcentage de sédiments correspondant au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) est de : 0%

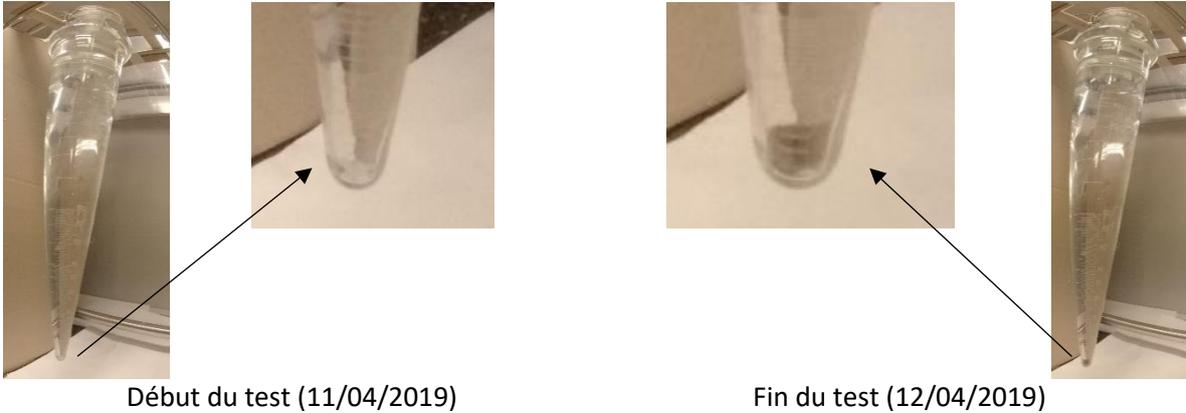
Avec ce type de régime turbulent à 1000 tours/min, aucune particule n'a pu sédimenter dans le cône de sédimentation du fait de la trop forte agitation.

6. Essai 6

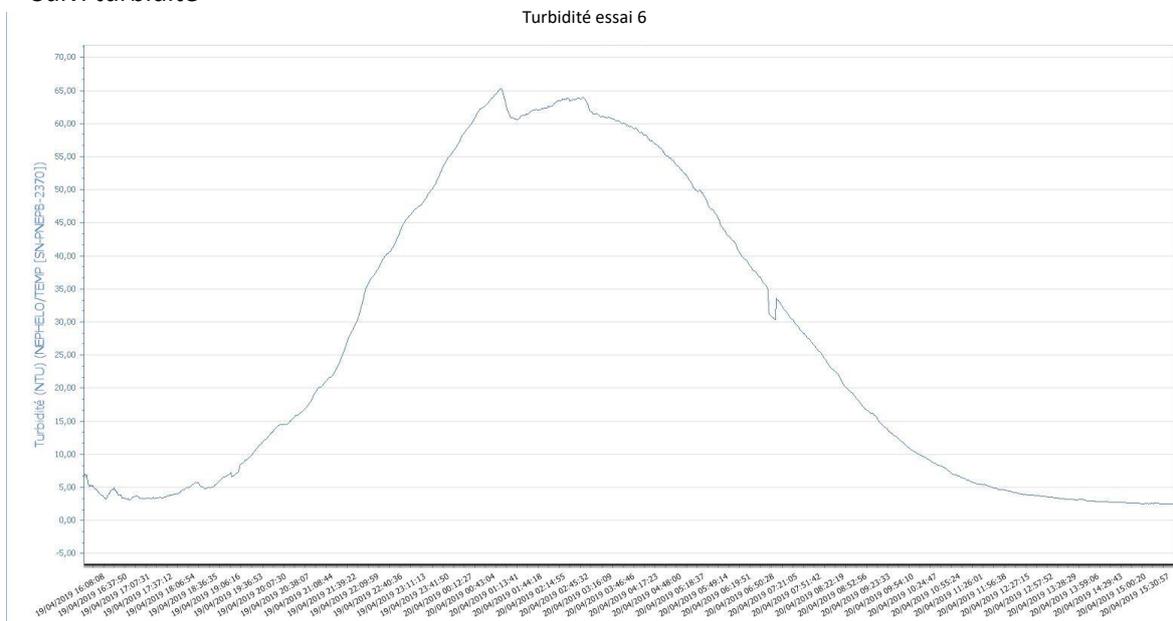
Dates : 19/04 au 20/04/19 (test 24h)

Type d'analyse : Eau Marne, régime transitoire (30 tours/min)

Ce test consiste à faire un blanc, c'est-à-dire sans effluent, afin de connaître les propriétés de sédimentation de la Marne sans perturbation quelconque.



• Suivi turbidité



Le graphique ci-dessus, indiquant l'évolution de la turbidité en fonction du temps, est une courbe de type gaussienne. Dans le même cas que l'essai 4, au début du test, on observe une diminution légère de la turbidité, qui pourrait se traduire par la sédimentation rapide des plus grosses MES. Puis, l'évolution progressive de la turbidité pourrait se traduire par la formation d'un floc en surface, qui, après avoir grossi, décante progressivement. Ce phénomène pourrait alors induire ce type de courbe de suivi de la turbidité.

• Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 10 minutes, sont sédimentés à 90% au bout de 2h et totalement sédimentés au bout de 4 heures de test. A la fin de l'essai, ils atteignent une hauteur de 1 cm, correspondant :

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,006%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

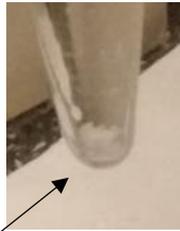
Le régime transitoire à 30 tours/min est celui qui correspond à une période d'étiage de la Marne. Il en découle une sédimentation rapide des MES, sans perturbation quelconque.

La Marne génère donc naturellement une sédimentation particulière.

7. Essai 7

Dates : 20/04 au 21/04/19 (test 24h)

Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime statique

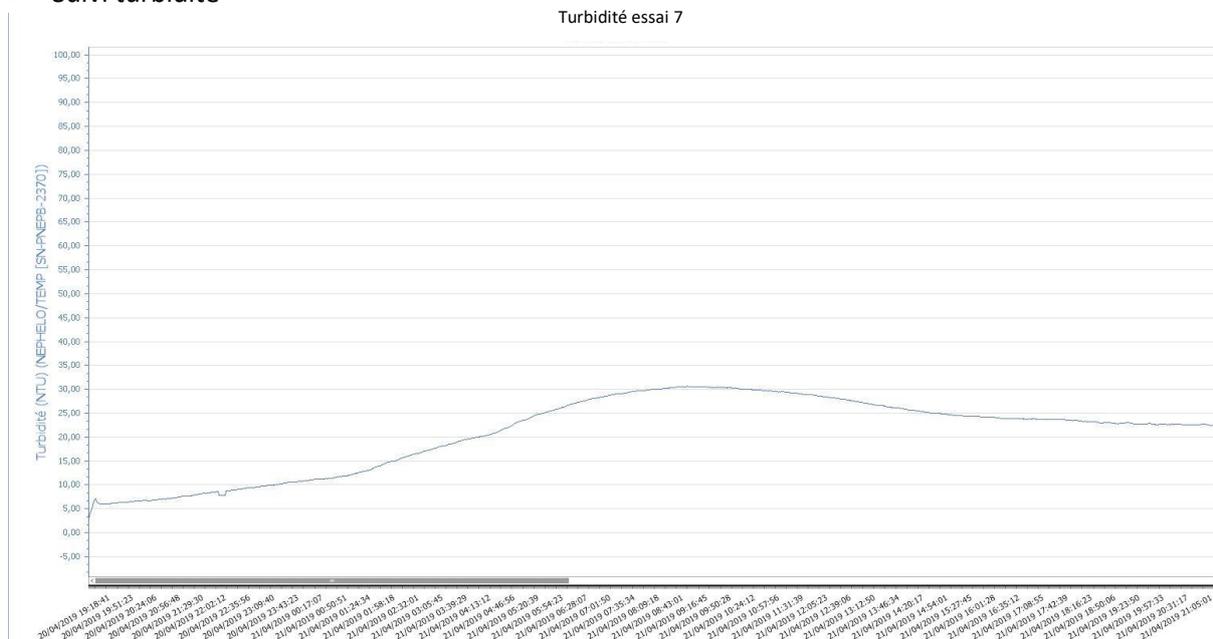


Début du test (20/04/2019)



Fin du test (21/04/2019)

- Suivi turbidité



Ce graphique représente le même cas que pour l'essai précédent, un floc s'est formé en surface avant de décanter doucement.

- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 10 minutes et atteignent, à la fin de l'essai, une hauteur de 1 cm, correspondant :

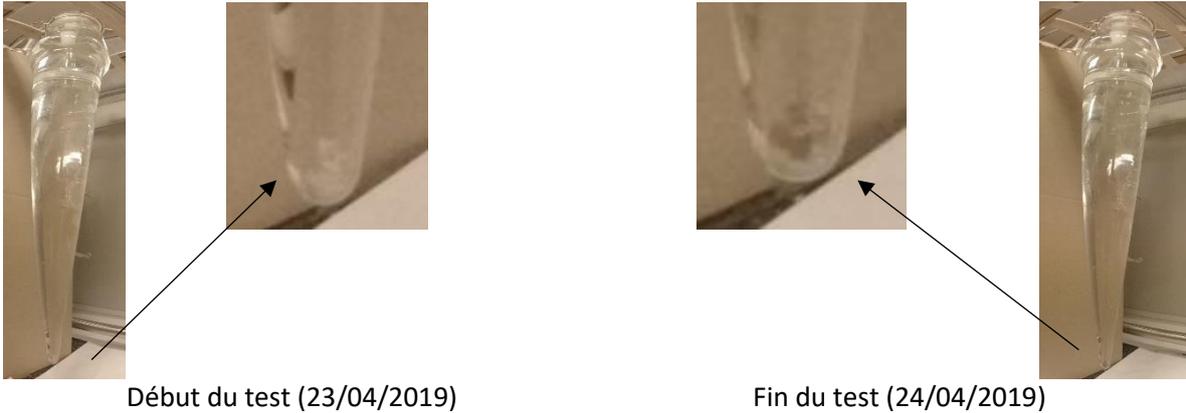
- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,006%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

En régime statique, la sédimentation semble moins importante que lorsqu'il y a une agitation. L'absence d'agitation entraîne une sédimentation très lente des MES, qui sont très fines et peu visibles à l'œil nu, donc non quantifiables.

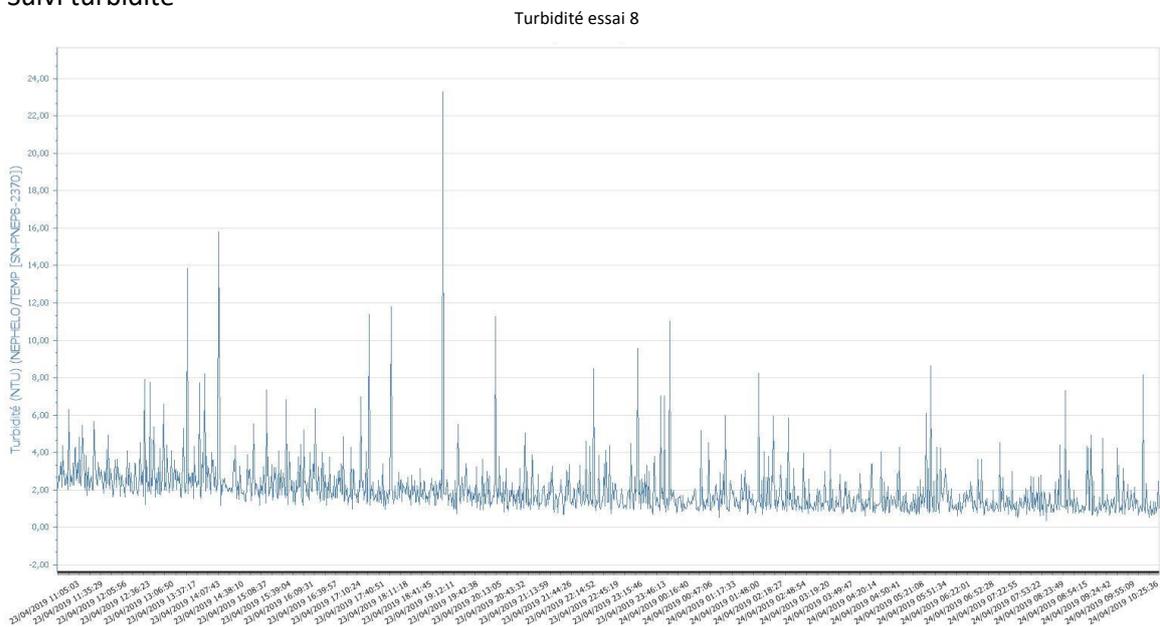
8. Essai 8

Dates : 23/04 au 24/04/19 (test 24h)

Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/150, régime turbulent (120 tours/min)



- Suivi turbidité



Le graphique ci-dessus montre l'évolution de la turbidité en fonction du temps pour cet essai. On observe, dans sa globalité, une diminution de la turbidité au fil du temps, tout en ayant des fluctuations plus ou moins importantes. On peut noter qu'il n'y a pas eu de formations de floccs à la surface puisqu'il n'est pas observé les mêmes courbes que les précédents essais.

- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 1 heure, sont sédimentés à 90% au bout de 8h et totalement sédimentés au bout de 16 heures de test. Ils atteignent à la fin de l'essai, une hauteur de 1 cm, ainsi qu'un dépôt léger sur l'ensemble de la paroi, sur une hauteur de 2 cm, correspondant :

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,006%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

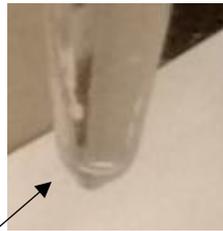
Le régime turbulent à 120 tours/min est celui qui correspond le plus aux conditions d'agitations normales de la Marne. Les essais avec ce type de régime semblent favoriser une sédimentation légère, ainsi qu'un dépôt léger de sédiments le long de la paroi.

Cet essai montre qu'aucune phase particulière ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse inférieure à 0,0003 %, aura lieu, à 90% sur 16km, puis les 10% restant jusqu'à 31 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

10. Essai 10

Dates : 25/04 au 26/04/19 (test 24h)

Type d'analyse : Eau Marne, régime turbulent (1000 tours/min)

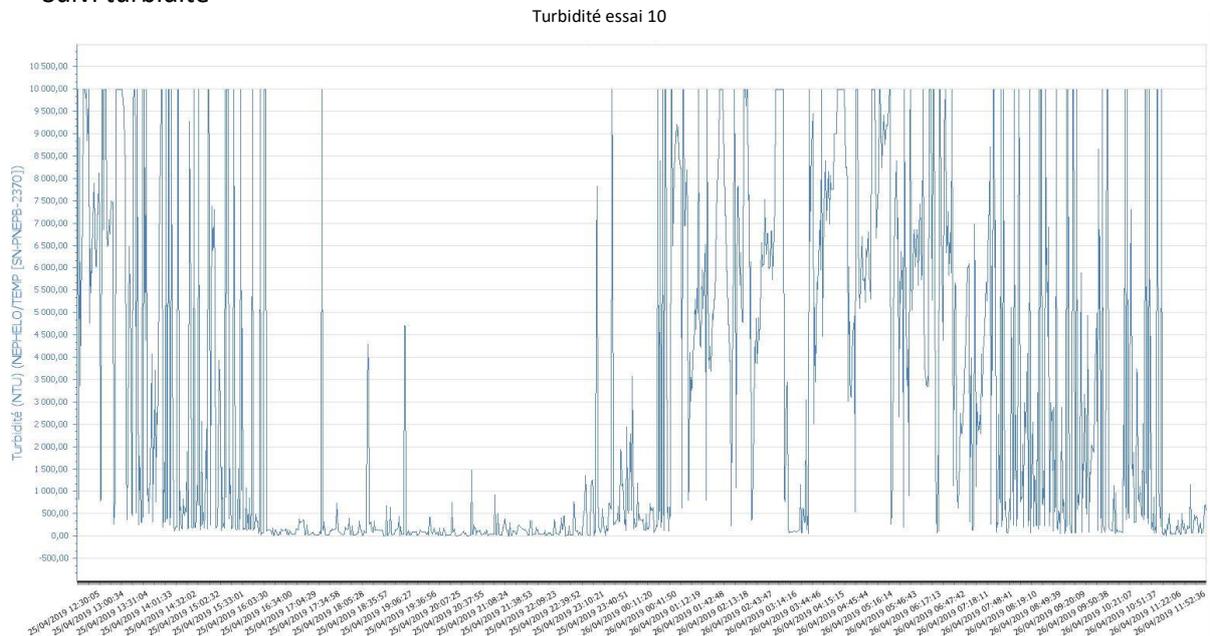


Début du test (25/04/2019)



Fin du test (26/04/2019)

- Suivi turbidité



Le suivi de la turbidité pour cet essai ne fonctionne pas, puisqu'avec ce type d'agitation (1000 tours/min), la sonde ne peut détecter une valeur de turbidité, car l'eau de la Marne est en constant mouvement.

- Observations

Avec ce type de régime (turbulent à 1000 tours/min), aucune sédimentation n'est possible.

On observe cependant des suspensions blanches, qui sont dûes à l'usinage de la barre de rotation de l'agitateur, il s'agit donc d'un défaut dans le test et non une conséquence naturelle de la sédimentation.

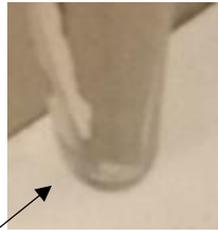
Le pourcentage de sédiments correspondant au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) est de : 0%

Avec ce type de régime turbulent à 1000 tours/min, aucune particule n'a pu sédimenter dans le cône de sédimentation du fait de la trop forte agitation.

11. Essai 11

Dates : 26/04 au 27/04/19 (test 24h)

Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime turbulent (1000 tours/min)

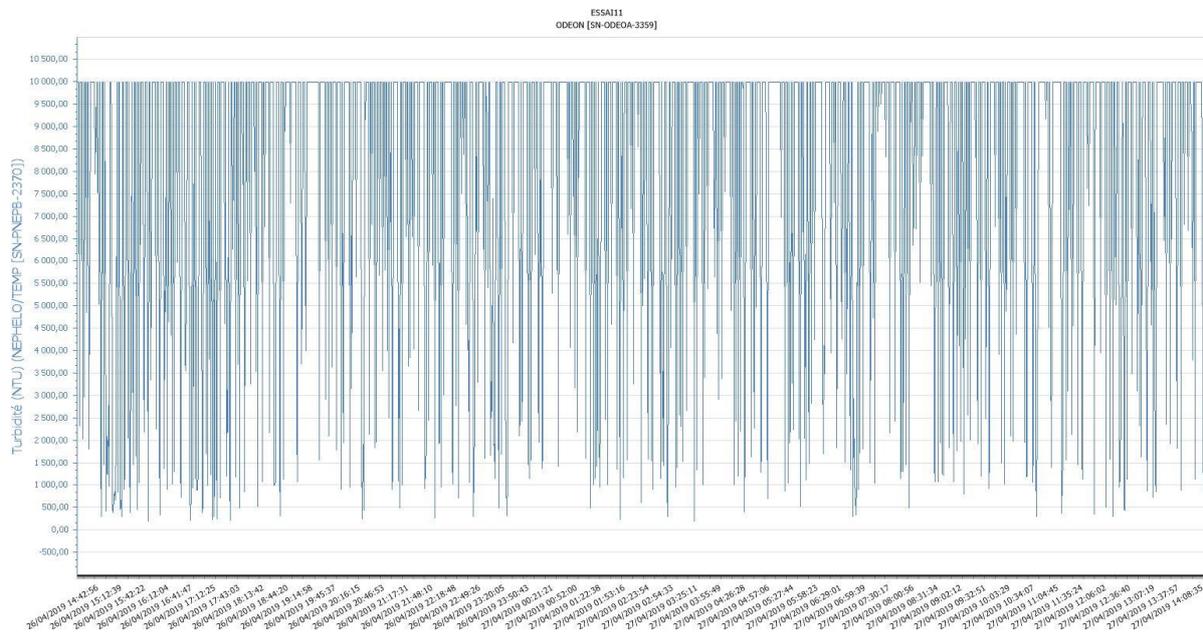


Début du test (26/04/2019)



Fin du test (27/04/2019)

- Suivi turbidité



Le suivi de la turbidité pour cet essai ne fonctionne pas, puisqu'avec ce type d'agitation (1000 tours/min), la sonde ne peut détecter une valeur de turbidité, car l'eau de la Marne est en constant mouvement.

- Observations

Avec ce type de régime (turbulent à 1000 tours/min), aucune sédimentation n'est possible.

On observe cependant des suspensions blanches, qui sont dûes à l'usinage de la barre de rotation de l'agitateur, il s'agit donc d'un défaut dans le test et non une conséquence naturelle de la sédimentation.

Le pourcentage de sédiments correspondant au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) est de : 0%

Avec ce type de régime turbulent à 1000 tours/min, aucune particule n'a pu sédimenter dans le cône de sédimentation du fait de la trop forte agitation.

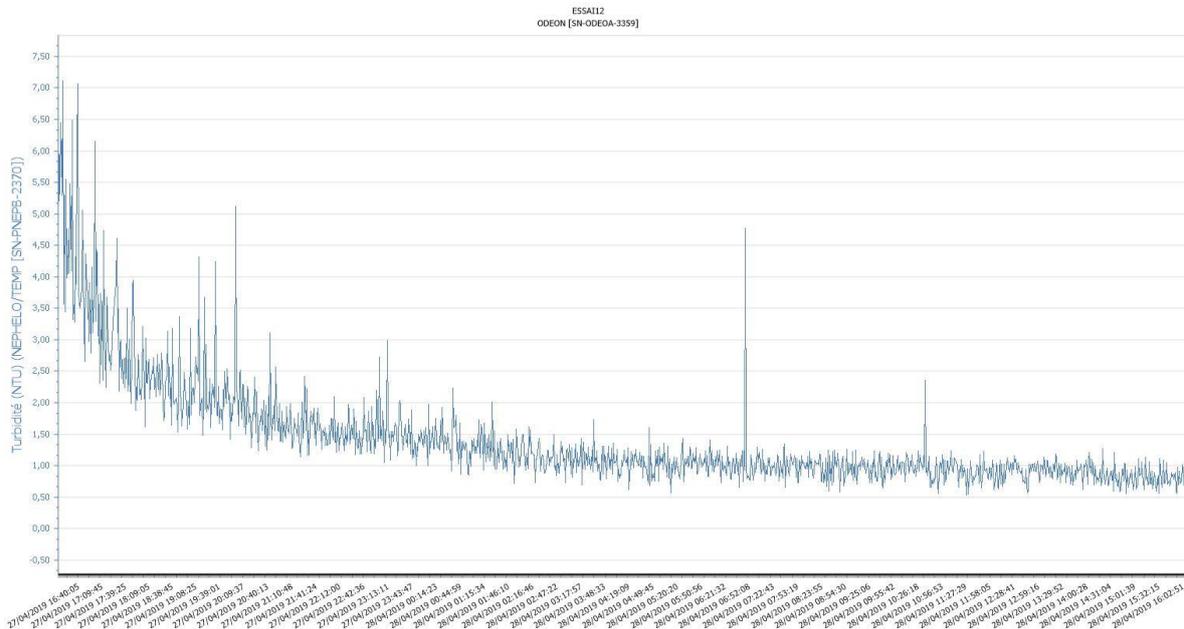
12. Essai 12

Dates : 27/04 au 28/04/19 (test 24h)

Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/400, régime transitoire (30 tours/min)



• Suivi turbidité



Le graphique ci-dessus montre l'évolution de la turbidité en fonction du temps pour cet essai. On observe une diminution de la turbidité au fil du temps, tout en ayant des fluctuations plus ou moins importantes. On peut noter qu'il n'y a pas eu de formation de floccs en surface, car il n'est pas observé une courbe de type gaussienne.

• Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 10 minutes et sont totalement sédimentés au bout de 1 heure de test. A la fin de l'essai, ils atteignent une hauteur de 1,7 cm, correspondant :

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,012%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

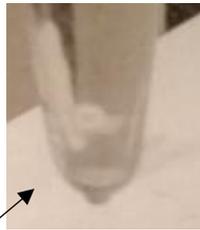
Le régime transitoire à 30 tours/min est celui qui correspond à une période d'étiage de la Marne. Il en découle une sédimentation rapide des MES, sans perturbation quelconque.

Cet essai montre qu'aucune phase particulière ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse de 0,0003 %, aura lieu sur environ 2 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

13. Essai 13

Dates : 29/04 au 01/05/19 (test 48h)

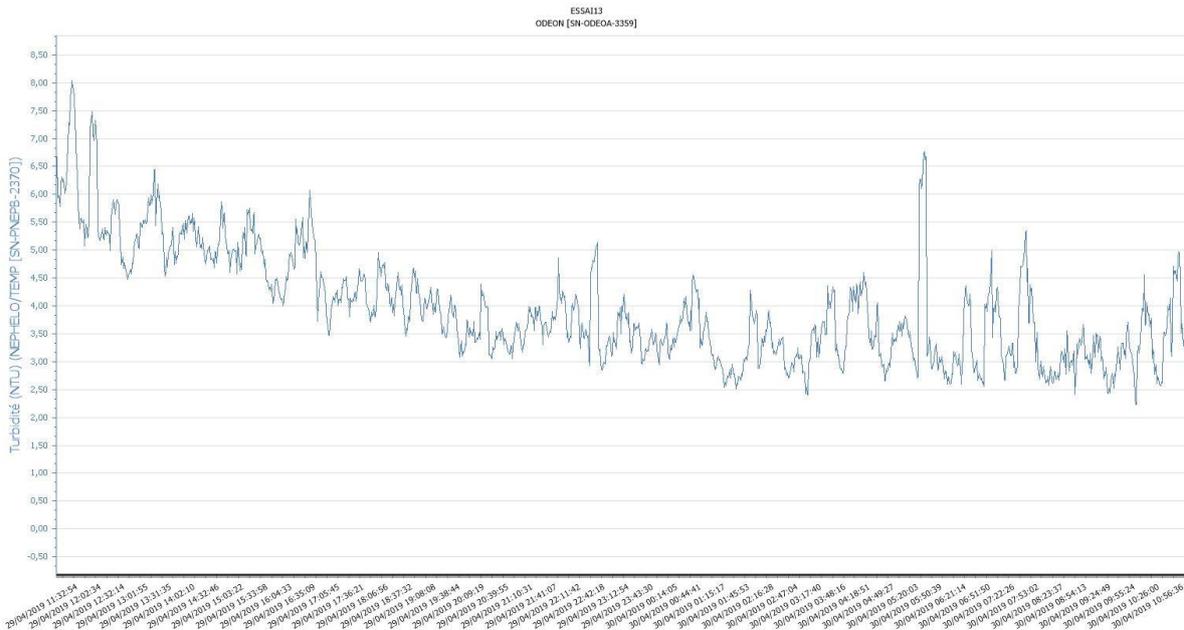
Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/400, régime turbulent (120 tours/min) pendant 24h, puis régime statique pendant 24h



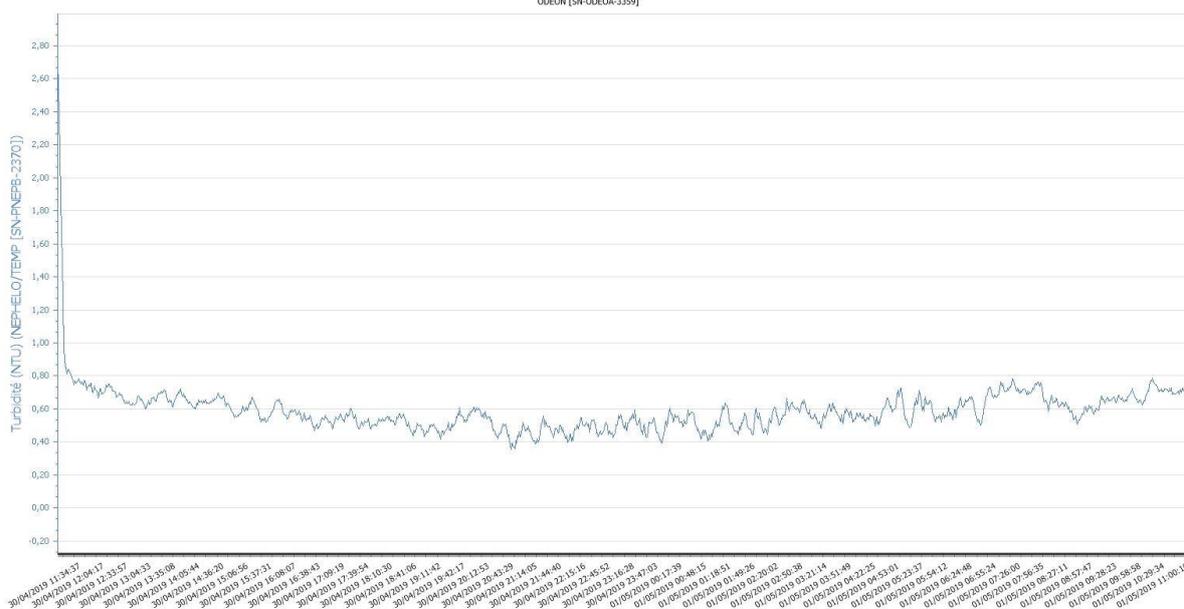
Début du test (29/04/2019)

Fin du test (01/05/2019)

- Suivi turbidité



Le graphique ci-dessus montre l'évolution de la turbidité en fonction du temps pour les premières 24 heures du test, c'est-à-dire pendant la période d'agitation à 120 tours/min. On observe une diminution progressive de la turbidité au cours du temps, tout en ayant des fluctuations plus ou moins importantes. Comme l'essai précédent, il n'y a pas eu de formation de flocons en surface durant l'essai.



Le graphique ci-dessus montre quant à lui l'évolution de la turbidité en fonction du temps pour les 24h restantes du test, c'est-à-dire lorsque l'eau de la Marne et l'effluent sont en phase statique. On observe une diminution forte de la turbidité en début de cette phase, puis une diminution plus légère au fil du temps.

- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 30 minutes, sont sédimentés à 80% au bout de 14h et totalement sédimentés au bout de 21 heures de test.

Ils atteignent, à la fin de l'essai, une hauteur de 1,5 cm, ainsi qu'un dépôt léger sur l'ensemble de la paroi, sur une hauteur de 2 cm, correspondant :

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,012%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

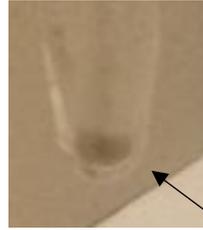
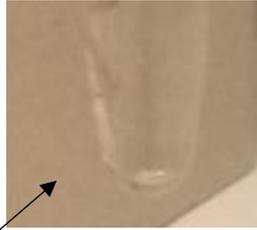
Le régime turbulent à 120 tours/min est celui qui correspond le plus aux conditions d'agitations normales de la Marne. Les essais avec ce type de régime semblent favoriser une sédimentation légère, ainsi qu'un dépôt léger de sédiments le long de la paroi.

Cet essai montre qu'aucune phase particulière ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse de 0,0003 %, aura lieu, à 80% sur 27km, puis les 20% restant jusqu'à 41 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

14. Essai 14

Dates : 03/05 au 05/05/19 (test 48h)

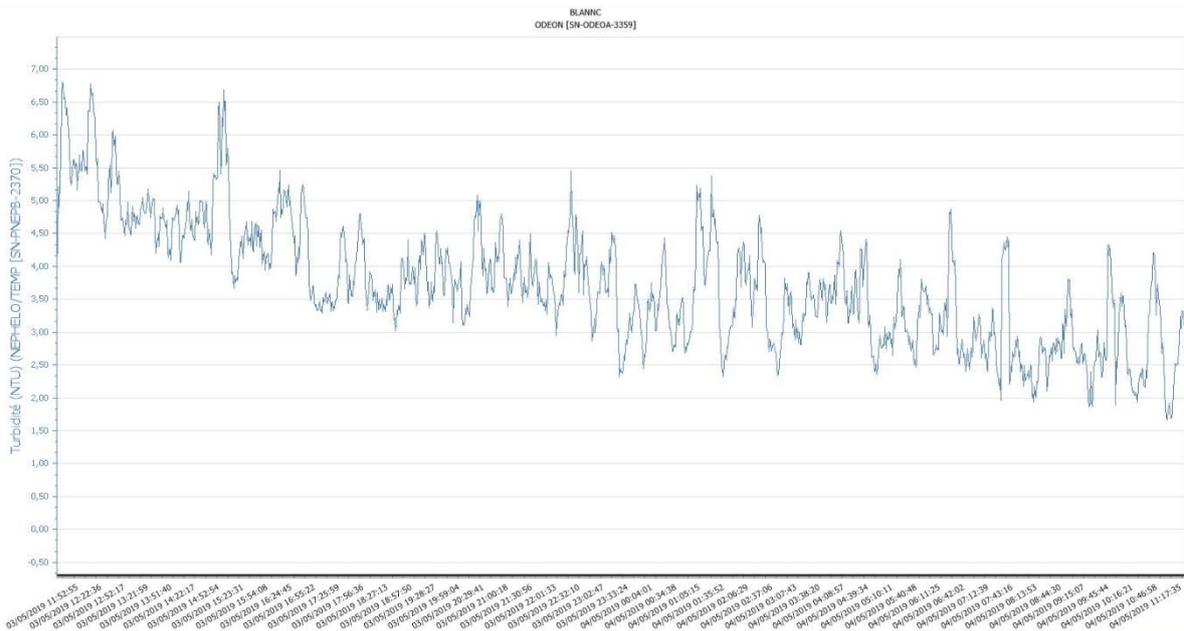
Type d'analyse : Eau Marne, régime turbulent (120 tours/min) pendant 24h, puis régime statique pendant 24h



Début du test (03/05/2019)

Fin du test (05/05/2019)

- Suivi turbidité



Le graphique ci-dessus montre l'évolution de la turbidité en fonction du temps. On observe une diminution progressive de la turbidité, tout en ayant des fluctuations plus ou moins fortes au cours du temps.

- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 30 minutes, sont sédimentés à 90% au bout de 9h et totalement sédimentés au bout de 22 heures de test. Ils atteignent, à la fin de l'essai, une hauteur de 0,5 cm, ainsi qu'un dépôt léger sur l'ensemble de la paroi, sur une hauteur de 3 cm, correspondant :

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,008%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

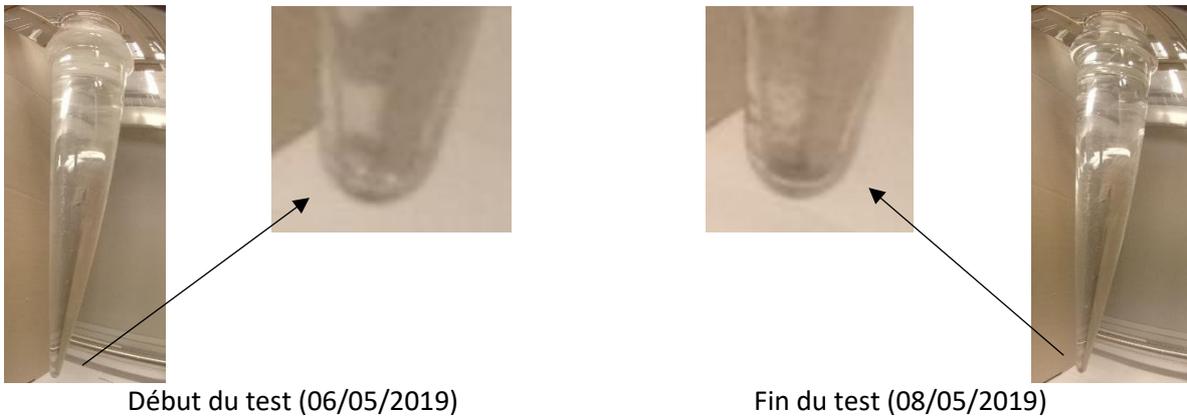
Le régime turbulent à 120 tours/min est celui qui correspond le plus aux conditions d'agitations normales de la Marne. Les essais avec ce type de régime semblent favoriser une sédimentation légère, ainsi qu'un dépôt léger de sédiments le long de la paroi.

Cet essai montre qu'aucune phase particulière ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse inférieure à 0,0003 %, aura lieu, à 90% sur 17km, puis les 10% restant jusqu'à 42 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

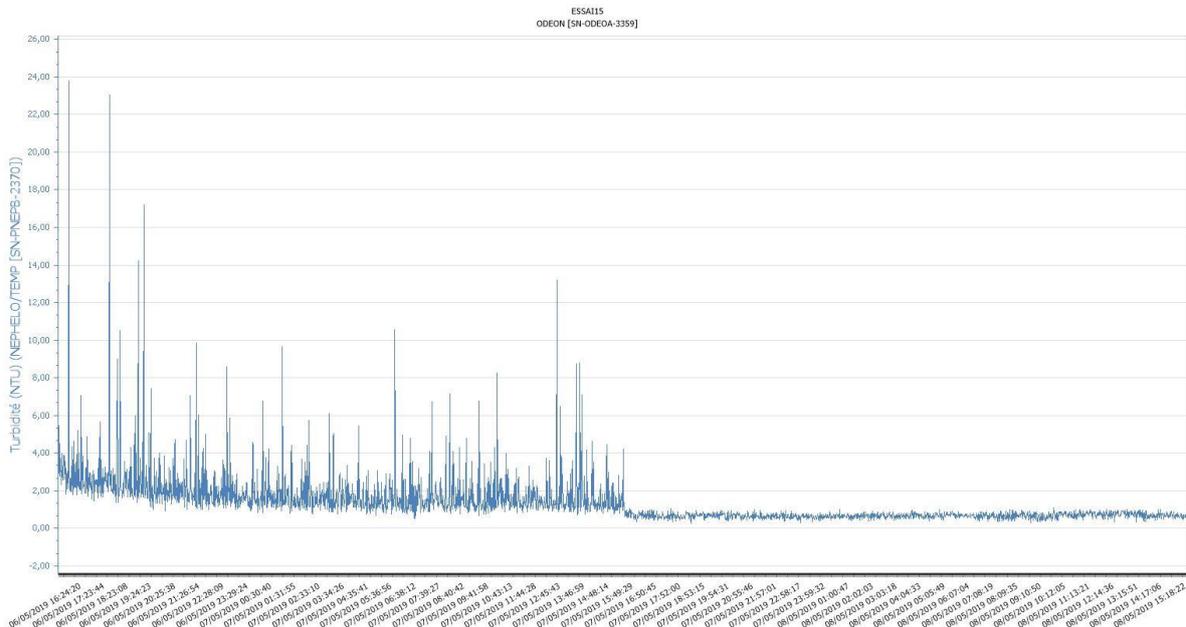
15. Essai 15

Dates : 06/05 au 08/05/19 (test 48h)

Type d'analyse : Eau Marne + effluent dilué au 1/300, régime turbulent (120 tours/min) pendant 24h, puis régime statique pendant 24h



- Suivi turbidité



- Observations

Des sédiments sont observés au fond du cône de sédimentation. Ils apparaissent au bout de 30 minutes, sont sédimentés à 90% au bout de 6h et totalement sédimentés au bout de 19 heures de test.

Ils atteignent, à la fin de l'essai, une hauteur de 0,3 cm, ainsi qu'un dépôt léger sur l'ensemble de la paroi, sur une hauteur de 2 cm, correspondant :

- au volume déposé au fond du cône de sédimentation par rapport au volume du réacteur (5 litres d'eau de la Marne) de : 0,002%
- à une masse de sédiments inférieure à 15 mg (pourcentage massique : 0,0003 %).

Le régime turbulent à 120 tours/min est celui qui correspond le plus aux conditions d'agitations normales de la Marne. Les essais avec ce type de régime semblent favoriser une sédimentation légère, ainsi qu'un dépôt léger de sédiments le long de la paroi.

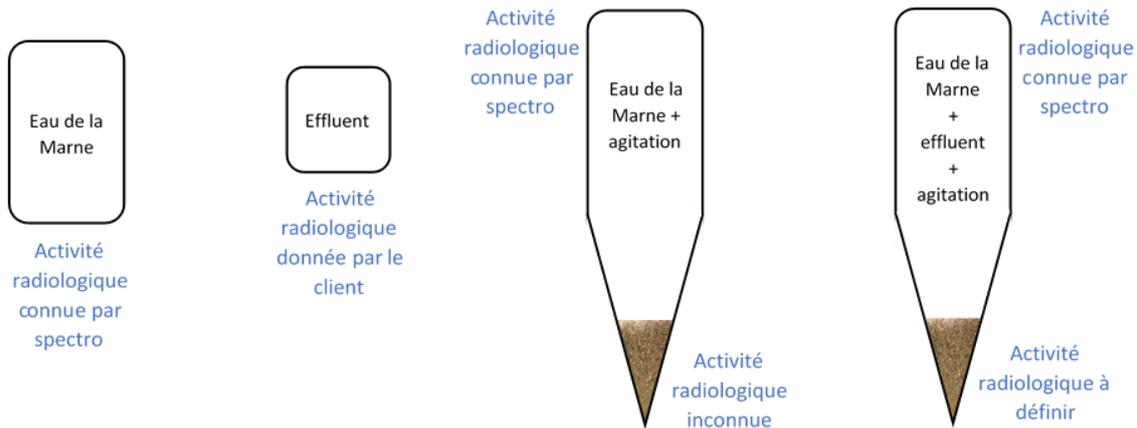
Cet essai montre qu'aucune phase particulière ne décantera dans le lac de Der, car selon la simulation, une sédimentation marginale, correspondant à une masse inférieure à 0,0003 %, aura lieu, à 90% sur 12km, puis les 10% restant jusqu'à 37 km depuis le point de rejet des eaux traitées de la blanchisserie.

VII. Analyses radiologiques des sédiments

Pour approfondir les résultats obtenus lors des essais, on cherche à connaître l'activité radiologique des sédiments.

Cependant, au cours de chaque essai, seulement quelques milligrammes sont récoltés par filtration. Or, pour pouvoir faire une analyse spectrométrique, il faut plus de 40g d'échantillon.

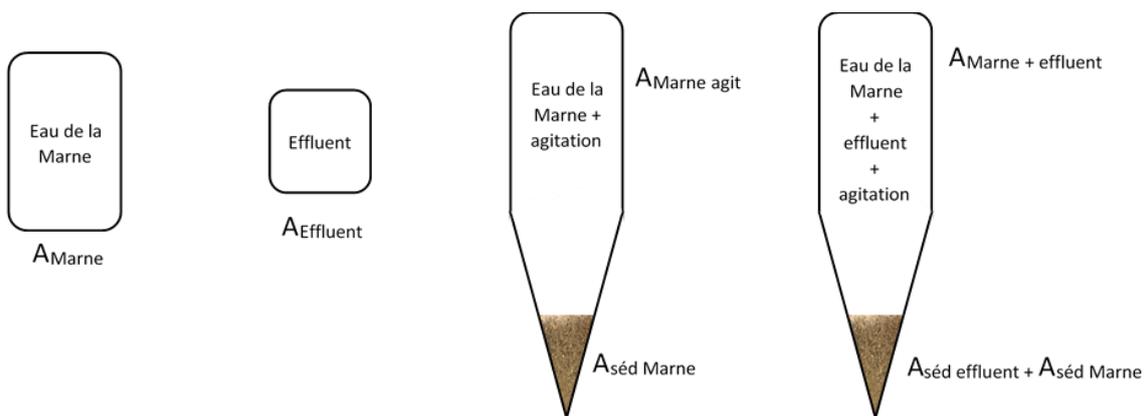
Dans ces conditions, il a été prévu d'analyser l'eau issue des essais laboratoire, et par déduction, trouver l'activité radiologique des sédiments.



Pour connaître l'activité radiologique des sédiments, trois échantillons liquides ont été analysés en laboratoire par spectrométrie :

- L'eau de la Marne
- L'eau de la Marne ayant été agitée pendant 24h à un régime d'agitation de 120 tours/min
- L'eau de la Marne avec l'effluent dilué au 1/300^e, agités pendant 24h à un régime turbulent de 120 tours/min

Les analyses radiologiques ont été réalisées par le laboratoire COFRAC Carso Algade de Vénissieux, agréé COFRAC et ASN



Pour connaître l'activité radiologique des sédiments issus du mélange de l'effluent dans la Marne, on peut s'appuyer sur l'équation suivante :

$$A_{\text{séd effluent}} = A_{\text{Marne}} + A_{\text{effluent}} - A_{\text{Marne + effluent}} - A_{\text{séd Marne}}$$

Les résultats issus des analyses spectrométriques sont présentés ci-dessous :

Analyse	Méthode	Norme	Unité	Marne + agitation	Marne sans agitation	Marne + agitation + effluent 1/300
Carbone 14	Scintillation liquide	NF EN ISO 13162	Bq/l	<1,7	<1,6	<1,7
Carbone 14 : incertitude (k=2)	Scintillation liquide	NF EN ISO 13162	Bq/l	-	-	-
Carbone 14 : LD	Scintillation liquide	NF EN ISO 13162	Bq/l		3,6	3,6
H3	Scintillation liquide	NF EN ISO 9698	Bq/l	<3,9	<3,8	<3,8
H3	Scintillation liquide	NF EN ISO 9698	Bq/l	-	-	-
H3	Scintillation liquide	NF EN ISO 9698	Bq/l		8,6	8,5
Americium 241	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,012	<0,014	<0,012
Americium 241 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Americium 241 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,024	0,024
Antimoine 125	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,032	<0,041	<0,032
Antimoine 125 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Antimoine 125 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,066	0,084
Argent 110 métastable	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,014	<0,017	<0,013
Argent 110 métastable : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Argent 110 métastable : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,029	0,034
Césium 134	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,016	<0,018	<0,013
Césium 134 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Césium 134 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,033	0,036
Césium 137	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,016	<0,019	<0,015
Césium 137 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Césium 137 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,033	0,039
Chrome 51	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,081	<0,11	<0,078
Chrome 51 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Chrome 51 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,17	0,22
Cobalt 58	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,016	<0,017	<0,015
Cobalt 58 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Cobalt 58 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,033	0,035
Cobalt 60	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,019	<0,021	<0,018
Cobalt 60 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Cobalt 60 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,039	0,044
Iode 131	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,01	<0,014	<0,01
Iode 131 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Iode 131 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,021	0,029
Manganèse 54	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,016	<0,018	<0,015
Manganèse 54 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Manganèse 54 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,034	0,038
Neptunium 237	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,021	<0,026	<0,02
Neptunium 237 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Neptunium 237 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,042	0,054
Potassium 40	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,27	<0,32	<0,28
Potassium 40 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Potassium 40 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,56	0,65
Radium 226	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,036	<0,039	<0,044
Radium 226 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Radium 226 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,074	0,079
Samarium 153	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,013	<0,017	<0,013
Samarium 153 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Samarium 153 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,027	0,034
Technétium 99 métastable	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,0054	<0,0074	<0,0055
Technétium 99 métastable : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Technétium 99 métastable : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,011	0,015
Thallium 200	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,0097	<0,013	<0,01
Thallium 200 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Thallium 200 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,02	0,026
Thallium 201	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,0091	<0,011	<0,0087
Thallium 201 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Thallium 201 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,019	0,024
Thallium 202	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,011	<0,013	<0,01
Thallium 202 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Thallium 202 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,022	0,027
Zinc 65	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	<0,041	<0,045	<0,037
Zinc 65 : incertitude (k=2)	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l	-	-	-
Zinc 65 : LD	Spectrométrie Gamma	NF EN ISO 10703	Bq/l		0,084	0,094

*Quand les résultats sont exprimés en <x, x correspond au seuil de décision

Le seuil de décision définit un seuil dont les valeurs au-dessus représentent, avec une quasi certitude, des résultats de mesure significativement radioactifs (effet détecté). A l'inverse, si les résultats sont inférieurs à ce seuil, il ne sera pas possible de conclure sur la présence avérée d'une radioactivité dans l'échantillon, car il y a la présence d'un bruit de fond.

Les résultats d'analyse montrent que tous les radionucléides sont inférieurs au seuil de décision, par conséquent, le calcul d'activité établi ci-dessus ne sera pas nécessaire.

VIII. Calcul de la DTI

Afin d'évaluer la qualité de l'eau de la Marne après le rejet des effluents dans cette dernière, le calcul de la DTI (Dose Total Indicative) a été réalisé dans le but d'une comparaison avec les seuils de qualité d'eau destinée à la consommation humaine.

La DTI est la dose efficace résultant d'une incorporation, pendant un an, de tous les éléments radiologiques naturels et artificiels présents dans l'eau destinée à la consommation humaine. Le calcul de la DTI est effectué pour des adultes, sur la base d'une consommation de 730 litres par an.

La référence de qualité pour cette dose indicative totale est de 0,1 mSv/an :

- Si la DTI est comprise entre 0,1 et 0,3 mSv/an, les actions visant à corriger la qualité de l'eau ne sont pas nécessaires.
- Si la DTI dépasse 0,3 mSv/an, il convient de rechercher des solutions de réduction des expositions aux radionucléides.
- Si la DTI excède 1 mSv/an, des solutions doivent impérativement être recherchées et mises en œuvre.

Dans le cas des effluents d'UNITECH rejetés dans la Marne, afin de calculer la DTI, chaque activité radiologique des radionucléides est diluée par 300, du fait de la dilution naturelle qui sera faite dans la Marne. Les spectres radiologiques et activités correspondantes par radioélément considérés pour ce calcul sont ceux de la laverie UNITECH en fonctionnement au Pays de Galles, dont le traitement d'eau est similaire à celui du projet de Suzannecourt.

Les radionucléides pris en compte dans le calcul sont les suivants :

3H	14C	39Ar	40K	51Cr
54Mn	55Fe	58Co	60Co	63Ni
65Zn	90Sr	99Mo	99mTc	110mAg
125Sb	131I	134Cs	137Cs	147Pm
153Sm	200Tl	201Tl	202Tl	226Ra
234U	238U	238Pu	237Np	241Am
244Cm	Autres bêta/gamma	Autres alpha		

De plus, afin de calculer la DTI, il faut connaître la dose efficace engagée par unité d'incorporation pour chaque radionucléide. Cette dose efficace engagée correspond à la dose absorbée, c'est-à-dire l'énergie reçue par unité de masse, donnée pour chaque radionucléide par la circulaire du 13 juin 2007.

Le calcul de la DTI est le suivant :

$$DTI = 730 * (\sum_i (C_i * h(g)_i)) * 10^3$$

où :

DTI : dose totale indicative par ingestion d'eau pour un adulte (en mSv an⁻¹) ;

C_i : activité volumique exprimée du radionucléide i (en Bq L⁻¹) ;

h(g)_i : dose efficace engagée par unité d'incorporation du radionucléide i ingéré par un individu adulte (âge > 17 ans)⁷ (en Sv.Bq⁻¹).

Radionucléides	Activité de l'effluent dilué au 1/300 dans les eaux de la	Doses efficaces engagées par unité d'incorporation	C _i x h(g _i)	DTI	Seuil	Dépassement par rapport à effluent dilué
	Bq/l	Sv/Bq		mSv/an	Bq/l (arrêté 2007+OMS)	
3H	2,11E-01	1,80E-11	3,79E-12		100	conforme
14C	4,67E-03	5,80E-10	2,71E-12		100	conforme
39Ar	2,03E-02					
40K	8,67E-03	6,20E-09	5,37E-11			
51Cr	1,67E-02	3,80E-11	6,33E-13		10000	conforme
54Mn	1,93E-02	7,10E-10	1,37E-11		100	conforme
55Fe	2,67E-02	3,30E-10	8,80E-12		1000	conforme
58Co	1,97E-01	7,40E-10	1,46E-10		100	conforme
60Co	6,19E-01	3,40E-09	2,10E-09		100	conforme
63Ni	5,27E-02	1,50E-10	7,90E-12		1000	conforme
65Zn	5,00E-03	3,90E-09	1,95E-11		100	conforme
90Sr	4,33E-02	2,80E-08	1,21E-09		10	conforme
99Mo	1,53E-02	6,00E-10	9,20E-12		100	conforme
99mTc	2,67E-02	2,20E-11	5,87E-13			
110mAg	5,30E-02	2,80E-09	1,48E-10		100	conforme
125Sb	5,00E-03	1,10E-09	5,50E-12		100	conforme
131I	5,93E-02	2,20E-08	1,31E-09		10	conforme
134Cs	5,00E-03	1,90E-08	9,50E-11		10	conforme
137Cs	9,37E-02	1,30E-08	1,22E-09		10	conforme
147Pm	7,67E-03	2,60E-10	1,99E-12		1000	conforme
153Sm	6,43E-02	7,40E-10	4,76E-11		100	conforme
200Tl	1,50E-02	2,00E-10	3,00E-12		1000	conforme
201Tl	1,22E-01	9,50E-11	1,16E-11		1000	conforme
202Tl	3,30E-02	4,50E-10	1,49E-11		1000	conforme
226Ra	1,20E-02	2,80E-07	3,36E-09		1	conforme
234U	4,03E-02	4,90E-08	1,98E-09		1	conforme
238U	2,67E-02	4,50E-08	1,20E-09		10	conforme
238Pu	3,00E-03	2,30E-07	6,90E-10		1	conforme
237Np	3,00E-03	1,10E-07	3,30E-10		1	conforme
241Am	1,67E-03	2,00E-07	3,33E-10		1	conforme
244Cm	2,33E-03	1,20E-07	2,80E-10		1	conforme
Autres beta/gamma	3,27E-02		0,00E+00			
Autres alpha	6,67E-04		0,00E+00			
TOTAL	1,85E+00		1,46E-08	1,07E-02		
			DTI si non dilution =	3,20E+00		

Ainsi, la DTI de l'effluent dilué dans la Marne est de 0,01 mSv/an.

La DTI est donc largement inférieure à la limite de référence considérée.

Cette conclusion est cohérente avec le constat que l'activité radiologique de chaque radioélément pris unitairement sur la base d'un effluent dilué 300 fois est inférieure aux seuils OMS (Organisme Mondial de la Santé) correspondants (cf. tableau ci-dessus).

Nota : Ce calcul ne prend pas en compte la part de radioéléments qui pourraient venir naturellement de la Marne. Ceci étant :

- *il est à noter que selon des études IRSN sur la qualité radiologique d'eaux de distribution, la zone géographique dans laquelle se trouve le site n'admet pas de DTI supérieure à 0,1 mSv/an,*
- *les résultats d'analyses radiologiques des eaux de la Marne réalisées pour les essais présentés au §VII ne présentent pas d'activité radiologique supérieure au seuil de décision.*

IX. Conclusion

Essais de floculation/sédimentation :

Dans le but de modéliser la sédimentation des effluents dans la Marne, 15 essais ont été réalisés selon les régimes et taux de dilutions de l'effluent différents, dont 4 essais de 48h (agitation de 24h suivie de 24h de régime statique) :

Régime	Taux de dilution de l'effluent				
	Sans effluent	Effluent dilué au 1/150	Effluent dilué au 1/300	Effluent dilué au 1/400	
Statique	<u>Essai 9</u> Pas de sédiments observés	<u>Essai 7</u> 1 cm de sédiments = 0,3 ml 0,006% de sédiments	<u>Essai 2</u> 3 mm, peu de sédiments = 0,1 ml 0,002% de sédiments		
		Apparition floc : 10 min Sédimentation totale : non visible	Apparition floc : 45 min Sédimentation totale : non visible		
		Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %		
Transitoire (30 t/min)	<u>Essai 6</u> 1 cm de sédiments = 0,3 ml 0,006% de sédiments	<u>Essai 4</u> 5 mm de sédiments = 0,2 ml 0,004% de sédiments	<u>Essai 1</u> 1,5 cm de sédiments = 0,5 ml 0,01% de sédiments	<u>Essai 12</u> 1,7 cm de sédiments = 0,6 ml 0,012% de sédiments	
		Apparition floc : 10 min Sédimentation totale : 4h	Apparition floc : 30 min Sédimentation totale : 4h	Apparition floc : 10 min Sédimentation totale : 10h	Apparition floc : 10 min Sédimentation totale : 1h
		Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %
Turbulent (120 t/min)		<u>Essai 8</u> 1 cm + 2 cm de sédiments fins sur les parois = 0,3 ml 0,006% de sédiments	<u>Essai 3</u> 5mm + 2cm de sédiments fins sur les parois = 0,2 ml 0,004% de sédiments	<u>Essai 13</u> 1,5 cm + 2 cm de sédiments fins sur les parois = 0,6 ml 0,012% de sédiments	
		Apparition floc : 1h Sédimentation totale : 16h	Apparition floc : 30 min Sédimentation totale : 19h	Apparition floc : 30 min Sédimentation totale : 21h	
		Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %	
Turbulent (1000 t/min)	<u>Essai 10</u> Pas de sédiments observés	<u>Essai 5</u> Pas de sédiments observés	<u>Essai 11</u> Pas de sédiments observés		
Test 48h			<u>Essai 1</u> 24h transitoire et 24h statique : 1,5 cm de sédiments = 0,5 ml 0,01% de sédiments		
			Apparition floc : 10 min Sédimentation totale : 7h15 Masse < 0,0003 %		
Test 48h en régime turbulent (120 t/min)	<u>Essai 14</u> 24h turbulent (120 t/min) et 24h statique : 5 mm + 3 cm de sédiments fins sur les parois = 0,4 ml 0,008% de sédiments		<u>Essai 15</u> 24h turbulent (120 t/min) et 24h statique : 3 mm + 2 cm de sédiments fins sur les parois = 0,1 ml 0,002% de sédiments	<u>Essai 13</u> 24h turbulent (120 t/min) et 24h statique : 1,5 cm + 2 cm de sédiments fins sur les parois = 0,6 ml 0,012% de sédiments	
			Apparition floc : 30 min Sédimentation totale : 22h	Apparition floc : 30 min Sédimentation totale : 19h	Apparition floc : 30 min Sédimentation totale : 21h
			Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %	Masse < 0,0003 %

Tableau 6 Résultats des essais en fonction du type de régime et de la dilution de l'effluent

On constate que les modélisations en régime turbulent à 1 000 tours par minute ne sont pas concluantes pour nos essais car aucun phénomène de décantation n'est observé. Cependant, les conditions de prélèvement de l'eau de la Marne étant en période normale d'agitation, on ne peut donc pas procéder à des modélisations de périodes de crues, en sachant que durant ces périodes, il y a beaucoup plus de MES présentes. Ainsi, en période de crue, le taux de dilution de l'effluent est plus important qu'en période normale d'agitation de la Marne.

Les prélèvements de l'eau de la Marne ont été réalisés en période de débit normal. Les tests représentatifs sont donc ceux d'une agitation en régime turbulent à 120 tours par minute avec une dilution de l'effluent au 1/300.

On observe également des comportements différents de la sédimentation en fonction des régimes :

- En régime statique, la sédimentation se fait lentement par gravitation
- En régime transitoire, les sédiments semblent former un floc en surface qui décante une fois devenu lourd
- En régime turbulent 120t/min, des sédiments se forment au fond du cône de sédimentation ; ceci correspond à un pourcentage en volume de sédiments < 0,012 % et massique < 0,0003 %. La masse de sédiment constaté est ainsi extrêmement faible. Cette quantité de sédiment provient naturellement de la sédimentation des eaux de la marne.

Les courbes de turbidité sont représentatives de ces comportements.

On note que les différentes dilutions ne semblent pas avoir d'effet significatif sur le phénomène de sédimentation. En effet, les pourcentages de sédiments, que ce soit sans effluent ou en présence d'effluent à différentes dilutions, sont dans les mêmes ordres de grandeur.

Les observations ci-dessus sont basées sur 15 tests différents réalisés, pour lesquels il n'y a pas eu de reproductibilité.

Enfin, il a été remarqué que pour l'ensemble des essais, 90% des sédiments se sont déposés au fond du cône de sédimentation en moins de 14h, et que la totalité de la sédimentation a été terminée avant les 24h de test. Par conséquent, on peut dire qu'il n'y a pas eu de sédimentation supplémentaire lors des périodes statiques, pour les tests de 48h.

Cela démontre donc que la sédimentation de l'effluent dans la Marne se fait bien avant son entrée dans le lac de Der.

A la suite de tous les essais réalisés, il est possible d'affirmer que l'effluent n'apporte pas de phase particulière en plus de la phase particulière présente naturellement dans l'eau de la Marne.

Calcul de la DTI :

Le calcul de la DTI correspondant à l'effluent de la blanchisserie diluée 300 fois est inférieur 10 fois au seuil de 0,1 mSv/an.

D'autre part, l'activité radiologique de chaque radioélément, pris unitairement sur la base d'un effluent dilué 300 fois, est inférieure aux seuils OMS (organisme Mondial de la Santé) correspondants.

Annexe 1

Protocole de la modélisation de la sédimentation d'effluent dans la Marne

**MODELISATION DE LA SEDIMENTATION D'EFFLUENT DANS LA
MARNE**



Sommaire

Table des matières

I. Objet.....	3
II. Caractéristiques de la Marne.....	3
II.1. Caractéristiques du lit.....	3
II.2. Valeurs retenues pour la Marne dans la zone d'étude	4
III. Caractéristiques de la cuve d'essais.....	4
IV. Modélisation de l'écoulement de la Marne dans une cuve agitée.....	5
IV.1.Mesures physiques disponibles	5
IV.1.1. La marne.....	5
IV.1.2. La cuve agitée	5
IV.2.Relation physique entre la Marne et la cuve agitée	5
IV.2.1. Régime d'écoulement.....	5
V. Les essais.....	7
V.1. Description.....	7
V.2. Matériel :	8
V.3. Mode opératoire	8
V.4. Résultats	8

I. Objet

La société UNITECH prévoit la création d'une blanchisserie nucléarisée, sur le territoire des communes de Suzannecourt et Thonnance-les-Joinville dans le département de la Haute-Marne. Ce projet constitue une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

Dans le cadre du dépôt du dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DAE) et afin de préparer des éléments techniques relatifs aux rejets des effluents dans la Marne en vue de la période d'enquête publique, les essais laboratoire suivants ont pour objectif de vérifier le comportement des effluents traités lors du mélange de ces derniers dans les eaux de la Marne.

Le protocole d'essai a pour but de suivre l'évolution du surnageant et la constitution d'un floc et/ou d'une sédimentation, afin d'évaluer le comportement du rejet post-traitement en Marne.

Le test permettra d'identifier et de matérialiser l'apparition dans le temps d'une fraction de densité supérieure (MES) à celle du liquide avec sédimentation de cette fraction.

L'effluent sera dilué avec de l'eau de la Marne à des taux croissants : 1/150, 1/300 et 1/400. Des tests de sédimentation statique (sans agitation) et sous agitation continue seront réalisés.

II. Caractéristiques de la Marne

Les éléments recensés ci-dessous sont issus du rapport final « Etude de dispersion des effluents dans la Marne – Pré-dimensionnement d'une solution de protection » référencé 8 71 3882 de juin 2017.

II.1. Caractéristiques du lit

Dans la zone d'étude, le lit de la Marne a une largeur d'environ 20 à 30 m.

En l'absence de données sur sa profondeur et sa forme, il est possible de partir sur des valeurs a priori, à savoir :

- Une forme trapézoïdale du lit,
- Des pentes de talus "naturel".

La figure suivante présente les hypothèses retenues pour la suite de l'étude, regroupées dans le tableau ci-après :

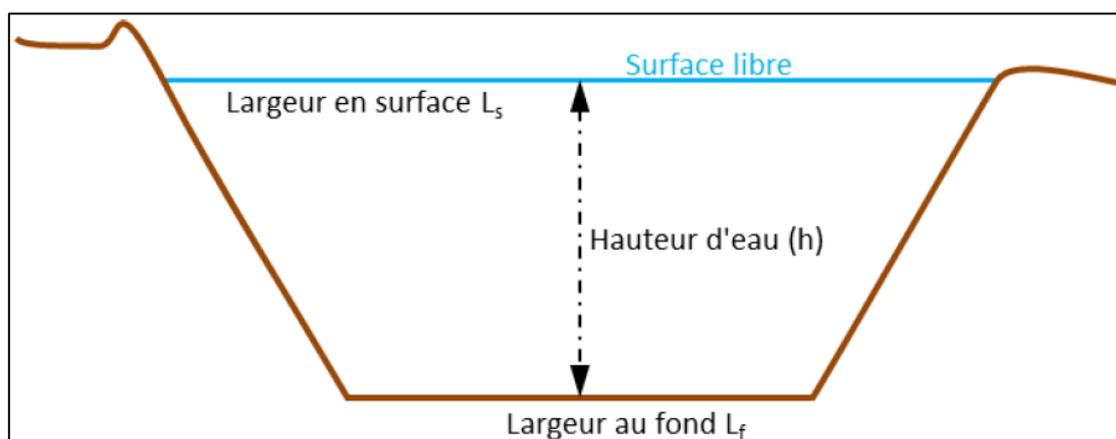


Figure 5 : Hypothèse sur le lit de la Marne

	Largeur en surface (Ls)	Largeur au fond (Lf)	Hauteur (h)	Surface	Débit	Courant
Hypothèse 1	20 m	15 m	2 m	35 m ²	25 m ³ /s	0,71 m/s
Hypothèse 2			3 m	52,5 m ²		0,48 m/s
Hypothèse 3	30 m	25 m	2 m	55 m ²		0,45 m/s
Hypothèse 4			3 m	82,5 m ²		0,30 m/s
Hypothèse 5	20 m	15 m	2 m	35 m ²	2,5 m ³ /s	0,07 m/s

Tableau 7 : Caractéristique du lit de la Marne

Les hypothèses 1 à 4 correspondent au module ; l'hypothèse 5 correspond à un début d'étiage.

II.2. Valeurs retenues pour la Marne dans la zone d'étude

En absence de données précises, les valeurs suivantes ont été retenues pour la présente étude :

	Etiage	Module	Crue 5 ans
Débit	2,5 m ³ /s	25 m ³ /s	250 m ³ /s
Hauteur d'eau	1 m	2 à 3 m	4 m
Courant	0,20 m/s	0,40 à 0,80 m/s	4,5 m/s

Tableau 8 : Valeurs retenues pour la Marne dans la zone d'étude

III. Caractéristiques de la cuve d'essais

Les tests seront réalisés dans une cuve en verre de 5 litres, à laquelle sera soudé en fond un cône de sédimentation, comme présenté ci-dessous.

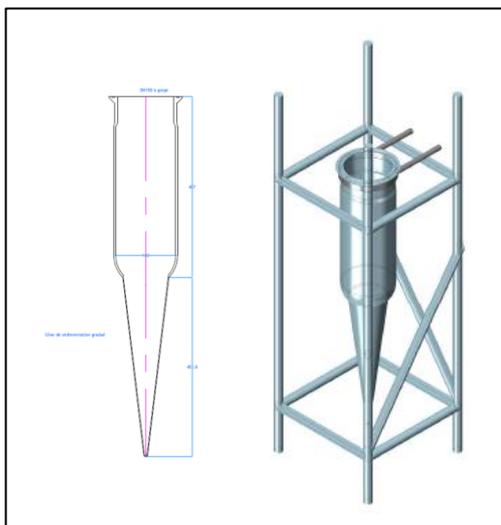


Figure 6 : Cuve et cône de sédimentation

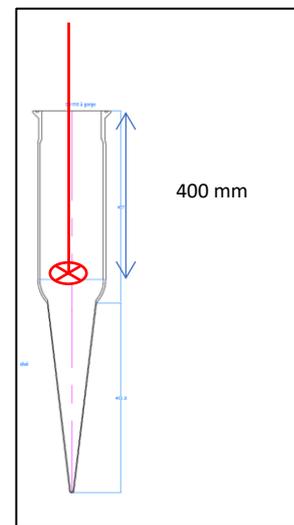


Figure 7 : Placement de l'agitateur dans le réacteur

La cuve d'essai sera remplie d'eau de la Marne, l'effluent de rejet sera introduit via une ampoule de coulée. Le maintien des matières en suspension dans l'ampoule de coulée sera réalisé par l'introduction d'un léger débit d'air.

Le mobile d'agitation sera constitué d'une hélice. Elle sera mise en mouvement par un arbre d'agitation dont la vitesse de rotation pourra être réglée. La puissance d'agitation sera suivie par la mesure de l'intensité électrique nécessaire au fonctionnement de l'agitation.

IV. Modélisation de l'écoulement de la Marne dans une cuve agitée

IV.1. Mesures physiques disponibles

IV.1.1. La marne

Les mesures physiques disponibles approchées pour la Marne sont :

- Le débit,
- La hauteur d'eau,
- Les dimensions du lit,
- La température,
- La viscosité (de l'eau).

IV.1.2. La cuve agitée

Les mesures physiques disponibles sont :

- Dimension de la cuve,
- Type de module d'agitation,
- Rotation du module d'agitation,
- Puissance d'agitation,
- Viscosité (de l'eau),
- Température.

IV.2. Relation physique entre la Marne et la cuve agitée

IV.2.1. Régime d'écoulement

Le régime d'écoulement peut être déterminé par le nombre adimensionnel de Reynolds dans les 2 cas, mais les valeurs du nombre de Reynolds diffèrent du régime d'écoulement dans une cuve agitée d'une circulation d'un fluide au travers d'une section.

	Laminaire	Transitoire	Turbulent
Écoulement dans un canal	$Re < 2\ 000$	$2\ 000 < Re < 3\ 000$	$Re > 3\ 000$
Cuve agitée	$Re < 10$	$10 < Re < 10\ 000$	$Re > 10\ 000$

Tableau 9 : Valeur du Nombre de Reynolds en fonction du régime d'écoulement dans une conduite (Marne) et une cuve agitée

Le tableau montre qu'il n'y a pas de relation évidente entre le nombre de Reynolds et un écoulement dans un canal et une cuve agitée.

Régime d'écoulement dans un canal

Le régime d'écoulement d'un canal est défini suivant le nombre de Reynolds

$$Re = \frac{D_h \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

Avec :

- D_h : Diamètre hydraulique ($D_h = \frac{4 \cdot A}{P}$)
 - o A : Surface de la section de passage du fluide
 - o P : Périmètre mouillé de la section
- v : Vitesse du fluide
- ρ : Masse volumique du fluide
- μ : viscosité dynamique du fluide

Au niveau du rejet, le régime d'écoulement est donc :

Hypothèse	Largeur		Hauteur - m	Surface - m ²	Périmètre mouillé - m	Débit - m ³ /s	Courant - m/s	Diamètre hydraulique - m	Re
	Surface - m	Fond - m							
1	20	15	2	35	35,40	25	0,71	3,96	2 825 172
2	20	15	3	52,5	52,98	25	0,48	3,96	1 887 613
3	30	25	2	55	55,27	25	0,45	3,98	1 809 447
4	30	25	3	82,5	82,81	25	0,30	3,98	1 207 552
5	20	15	1	35	35,40	2,5	0,07	3,95	282 517

La Marne est en régime turbulent même en période d'étiage. Ce régime turbulent correspond au régime d'écoulement des fleuves qui ont des diamètres hydrauliques importants.

Régime d'écoulement dans la cuve agitée

Le régime d'écoulement dans la cuve agitée est défini suivant le nombre de Reynolds ci-dessous

$$Re = \frac{\rho * N * D^2}{\mu}$$

Avec :

- $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$
- N : vitesse de révolution de l'agitateur en s^{-1}
- D : diamètre de l'agitateur : 0,1 m
- $\mu = 0,001$

Le régime d'écoulement dans la cuve agitée est donc :

Vitesse agitation (Tour/min)	0	200	400	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Vitesse agitation (Tour/s)	0	3,33	6,67	13,33	16,67	20	23,33	26,67	30	33,33
$Re = \frac{\rho * N * D^2}{\mu}$	0	33300	66700	133300	166700	200000	233300	266700	300000	333300

Suite à cette calibration du système d'agitation, il sera possible de déterminer la vitesse de rotation de l'agitateur en fonction du régime d'écoulement désiré.

Les essais seront réalisés suivant les régimes suivants :

Régime d'écoulement	Re	Vitesse d'agitation
Statique	0	0
Laminaire	5	0,03 t/min
Transitoire	5 000	30 t/min
Turbulent	20 000	120 t/min
Turbulent	166 650	1 000 t/min
Turbulent	333 300	2 000 t/min

V. Les essais

La Marne admet un régime turbulent que cela soit en situation de basses eaux que de hautes eaux. Nous prévoyons de réaliser les essais de comportement des effluents dans un réacteur de volume d'environ 5 litres. Le système d'agitation et la vitesse d'agitation seront étudiés de manière à se rapprocher le plus possible du comportement des turbulences de la Marne.

Les essais suivants ont été réalisés :

- | | | |
|-----------------|---|---|
| Tests
de 24h | } | - 3 essais réalisés sur l'eau de la Marne uniquement (sans effluent), selon 3 régimes : statique, transitoire et turbulent (agitation 1000 tours/min) |
| | | - 2 essais en régime statique : <ul style="list-style-type: none">○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300 |
| | | - 3 essais en régime transitoire (agitation 30 tours/min) : <ul style="list-style-type: none">○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/400 |
| | | - 2 essais en régime turbulent (agitation 120 tours/min) : <ul style="list-style-type: none">○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300 |
| | | - 2 essais en régime turbulent (agitation 1000 tours/min) : <ul style="list-style-type: none">○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/150○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300 |
| | | |
| Tests
de 48h | } | - 1 essai en régime transitoire (agitation 30 tours/min) pendant 24h, puis en régime statique pendant 24h : <ul style="list-style-type: none">○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300 |
| | | - 3 essais en régime turbulent (agitation 120 tours/min) pendant 24h, puis en régime statique pendant 24h : <ul style="list-style-type: none">○ Eau Marne○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/300○ Mélange eau Marne + effluent dilué au 1/400 |
| | | |

V.1. Description

Tous les essais sont semblables, les seuls paramètres qui sont modifiés sont la dilution de l'effluent dans les eaux de la Marne, la vitesse de rotation du mobile d'agitation et la durée de l'essai (24h ou 48h).

Les eaux de la Marne seront conditionnées en bidon de 20 litres et conservées dans un réfrigérateur pour éviter le développement microbien.

L'effluent Unitech sera conditionnée dans un flacon de 1 litre conservé pour limiter le développement microbien.

V.2. Matériel :

- Eprouvette de 1 litre
- Eprouvette de 50 ml
- Réacteur de 5 litres avec cône de sédimentation de 1 litre
- Agitateur
- Ampoule de coulée dans le réacteur
- Appareil photo pour réalisation de timelapse
- Eclairage pour l'appareil photo
- Chronomètre
- Pompe pour vidange du réacteur
- Compresseur (aquarium)

V.3. Mode opératoire

- Agiter le bidon d'eau de la Marne pour remettre en suspension les MES,
- Faire un prélèvement de 5 litres du bidon avec l'éprouvette de 1 litre,
- Mettre les 5 litres d'eau de la Marne dans le réacteur,
- Mettre en route l'agitateur à 30 t/min pour limiter la sédimentation des MES,
- Agiter le flacon d'effluent pour la mise en suspension des MES,
- Prélever la quantité d'effluent correspondant au volume d'essai,
- Mettre le volume prélevé dans l'ampoule de coulée,
- Envoyer de l'air pour éviter la sédimentation,
- Régler la vitesse de rotation de l'agitateur à la valeur de l'essai,
- Vider entièrement le volume de l'ampoule de coulée dans le réacteur,
- Lancer le chronomètre et l'appareil photo (1 image/30 seconde),
- Au bout de 24h, fin de l'essai : Mesurer le volume de sédiment déposé dans le cône de sédimentation,
- Arrêter l'agitation,
- Vidanger le réacteur avec une pompe,
- Nettoyer le réacteur à l'eau claire,
- Reprendre les essais.

V.4. Résultats

Les résultats de chaque essai seront sous la forme d'une fiche reprenant la date de l'essai, le type d'analyse réalisée, les résultats obtenus en comparant la photo au début du test et la photo à la fin du test. Il y aura également le résultat du suivi de la turbidité en fonction du temps, ainsi qu'une observation sur la quantité de sédiments déposés dans le cône de sédimentation.

Des films en accéléré représentant les 24h ou 48h d'essais seront joints.