

ASTEE 96th Annual Conference – June 6 to 9, 2017

Liège, Belgique

Etude expérimentale des facteurs de transfert dans l'eau du CVM à partir des canalisations PVC

ASTEE Section Ouest-Bretagne, Pays de Loire



Le Risque CVM

Aspect Santé publique

- **Le chlorure de vinyle monomère est classé comme substance cancérigène certaine depuis 1987 par le Centre International de recherche contre le cancer:**
 - Provoque un cancer du foie (angiosarcome) à pronostic vital sévère
- **Mais**
 - Un nombre de cas très limité (quelques unités par an en France) essentiellement en relation avec une exposition professionnelle (risque connu chez les ouvriers travaillant dans les usines d'extrusion du PVC lié à l'inhalation sous forme gazeuse)
 - Pas de prévalence évidente de ce type de cancer dans l'ouest de la France où prédomine le PVC dans les réseaux d'eau

L'abonné est-il confronté à un risque réel ?



Le Risque CVM

Dans le domaine de l'eau potable

- **Contamination de l'eau liée à l'utilisation de canalisation en PVC avec un résiduel important de CVM**
- **Un risque devenu inexistant après 1980**

Mise en place d'une étape de dégazage sous atmosphère réduite dans le processus de fabrication garantissant une teneur résiduelle en CVM inférieure à 1 ppm.
- **pour les fabrications antérieures à 1980**

Une variation de quelques degrés lors de la phase d'extrusion conduisait à des variations du taux de CVM résiduel de quelques ppm à plusieurs centaines de ppm voir 1000 ppm ou plus
- **Un phénomène physique de relargage entre la surface du PVC et l'eau qui tend à équilibrer la teneur en CVM entre la paroi interne de la conduite et l'eau,**
 - Une diminution plus importante dans les premières années après la pose, ce qui conduit à penser que les doses ingérées dans les années 1970 étaient plus importantes qu'aujourd'hui.
 - Un potentiel de diffusion qui ne diminue que très lentement avec l'âge de la canalisation.



Le Risque CVM

Dans le domaine de l'eau potable

- La contamination de l'eau dépend de plusieurs paramètres, et en particulier :
 - De la **concentration** en CVM dans le PVC
 - De la **température** de l'eau
 - Du **temps de contact** eau / PVC
 - Du rapport surface d'échange/volume d'eau (**diamètre de la canalisation**)

- D'autres paramètres semblent peu influencer le phénomène:
 - La minéralisation de l'eau
 - L'agressivité de l'eau
 - La concentration en chlore résiduel (par réaction avec le CVM)



Le Risque CVM

La réglementation Française

- **Limite de qualité dans l'eau potable : 0,5 µg/l**
- **Difficulté d'interprétation des analyses :**
 - Limite de quantification de l'ordre de 0,1/0,2 µg/l
 - Incertitude de mesure globale (prélèvement, transport, instrumentation) évaluée entre:
 - 40 et 50 % pour des valeurs autour de 0,2 µg/l à 0,3 µg/l
 - 35 % autour de la limite de qualité



Le Risque CVM

La réglementation Française

Instruction du Ministère de la Santé du 18/10/2012 relative au repérage des canalisations en PVC susceptible de contenir du CVM et la gestion des risques sanitaires

- **Identification des tronçons susceptibles de relarguer des CVM**
 - Conduites antérieures à 1980 présentant un temps de contact de l'eau supérieur à 2 jours
 - **Adaptation du contrôle sanitaire** : Ciblage des antennes à risque
 - **Si dépassement de la limite de qualité confirmée (après contre analyse)**
 - Actions correctives immédiates (purges en général ou modification de la circulation de l'eau)
 - Si actions insuffisantes après 3 mois, interdiction d'usage alimentaire sauf ébullition. Pas d'interdiction des usages sanitaires (douche....)
- Mesures peu compréhensibles, puisque le phénomène dure depuis 40 ans**
- **Mesures à long terme** :
 - Les purges ne sont pas une solution pérenne (pertes en eau)
 - Seul le renouvellement des conduites constitue une solution définitive



Le Risque CVM

Comment déterminer les tronçons à remplacer ?

➤ Démarche des Agences Régionales de Santé

- Repérage des tronçons de PVC « à risque » par chaque collectivité (modélisation informatique)
- Pays de la Loire : traitement rapide et généralisé du problème (10 000 prélèvements réalisés de 2014 à 2016)
- Bretagne : Focalisation sur les zones « plus à risque »

➤ Pour les collectivités concernées en cas de dépassement confirmé:

Objectif de limitation des linéaires à remplacer aux secteurs réellement touchés

- Analyses complémentaires sur tout le réseau du point d'injection dans le réseau suspecté jusqu'aux extrémités des antennes concernées
- Difficultés rencontrées en matière de fiabilité des résultats d'analyse
- Pas de lien apparent avec les résultats d'analyse de CVM dans le matériau



Le Risque CVM

La problématique dans l'Ouest de la France

➤ Exemple de la Bretagne

- 72 000 km de réseau d'eau potable posé principalement dans les années 1950 à 1980
- Majoritairement en PVC (environ 80 % du linéaire)
- Un réseau à dominante rurale: plus de 50 % du linéaire avec un diamètre < 100 mm
- De nombreuses antennes avec peu de consommateurs
- Un réseau en bon état (rendement distribution : 85,9 % - ILP = 1,2 m³/km) avec un taux de renouvellement encore faible (0,6 % /an)

➤ Le relargage des CVM, un enjeu majeur dans l'Ouest de la France :

- En Bretagne, le linéaire estimé de PVC posé avant 1980 est d'environ 40 000 km pour un coût de reconstruction à neuf d'environ 3 milliard d'euros



Le Risque CVM

Les objectifs du groupe de travail mis en place par la section Ouest de l'ASTEE

➤ **Réflexions associant sous le pilotage scientifique du professeur René SEUX:**

- La section régionale **ASTEE Ouest**
- Les Syndicats Départementaux d'Alimentation en Eau Potable
- Les exploitants de réseau (VEOLIA en particulier)
- L'Agence de l'Eau Loire Bretagne et « Vendée Eau » qui ont également financé l'expérimentation

➤ **Objectifs**

- Partage d'expérience
- Compilation les données disponibles (analyses, tronçons concernés, coûts)
- Mise en place d'un tronçon expérimental (canalisation remplacée car relarguant des CVM) avec reconstitution d'une consommation simulée.



Le Risque CVM

Le retour d'expérience du département de la Vendée

- **Réseau du Syndicat Départemental « Vendée Eau »:**
 - 5240 km de PVC posés avant 1980 soit 46 % des canalisations PVC
- **La campagne de recherche CVM**
 - De 2014 à 2016, prélèvements «ciblés» sur les antennes en PVC antérieures à 1980 et présentant un temps de contact supérieur à 2 jours **soit 1421 analyses.**
 - 74 points de prélèvements contrôlés une seconde fois pour confirmation et **45 résultats de CVM > 0,5 µg/L confirmés**
- **Les résultats**
 - Environ 3 % de résultats d'analyses non conformes sur les antennes à risque (PVC < 1980, temps de contact > 2 jours)
 - Environ 5 % pour l'ensemble de la région Pays de la Loire
 - 39 km de réseau remplacés et un coût de 2 100 000 € soit 0,7 % du linéaire de PVC antérieur à 1980 remplacés



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

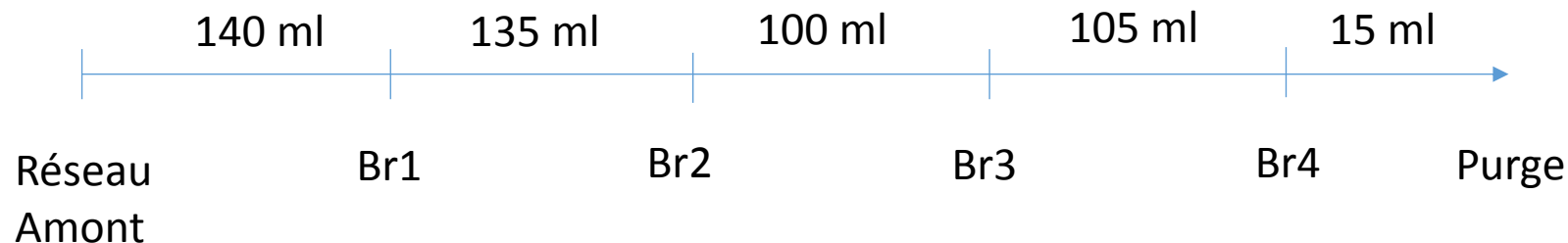
Objectifs et moyens de l'étude

➤ Déterminer:

- La reproductibilité des analyses du CVM dans des conditions de prélèvements bien définies,
- L'incidence des facteurs temps de contact et température sur la migration du CVM contenu dans le matériau vers l'eau transportée par la canalisation
- Chercher à établir un lien avec la teneur dans le matériau

➤ Moyens

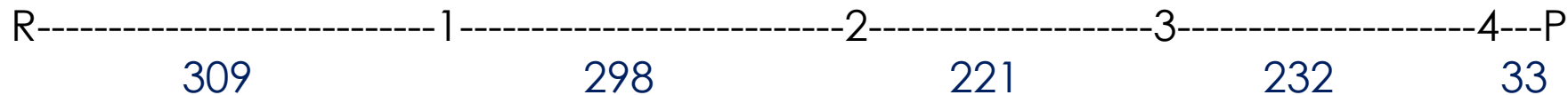
- Réseau situé en Vendée d'environ 500 ml en PVC Ø 53/63 mm posé en 1972, abandonné en raison de teneurs en CVM non conformes
- 4 tronçons équipés avec mesures des volumes d'entrée et de prélèvement
- Purge programmable en extrémité simulant une consommation



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Le déroulement de l'expérimentation

Le diamètre intérieur de la canalisation étant de 53 mm, les volumes des cinq tronçons composants l'antenne (**V en litres**) sont indiqués ci-dessous et le volume total contenu dans cette antenne est de 1093 litres.



Phase 1 (année 2015)

- Détermination des conditions expérimentales pour obtenir des concentrations en CVM répétables comprises entre **0,5 – 3 µg/L**
- Purge automatique programmable réglée pour obtenir l'écoulement de la moitié du volume retenu le matin à 8 h et l'autre moitié le soir à 20 h.
- débits de purge testés: 100,200,300 et 500l/j. Débit de 300 l/j retenu

Phase 2 (année 2016)

- Consommation simulée de 300 l/j avec un débit instantané de 1,7m³/h pour rester au plus près du modèle « Flux Piston »
- Prélèvement avec relevé des températures, des volumes et mesure du chlore chaque semaine, de février à décembre, pour des températures de l'eau variant de 9 à 22 °C

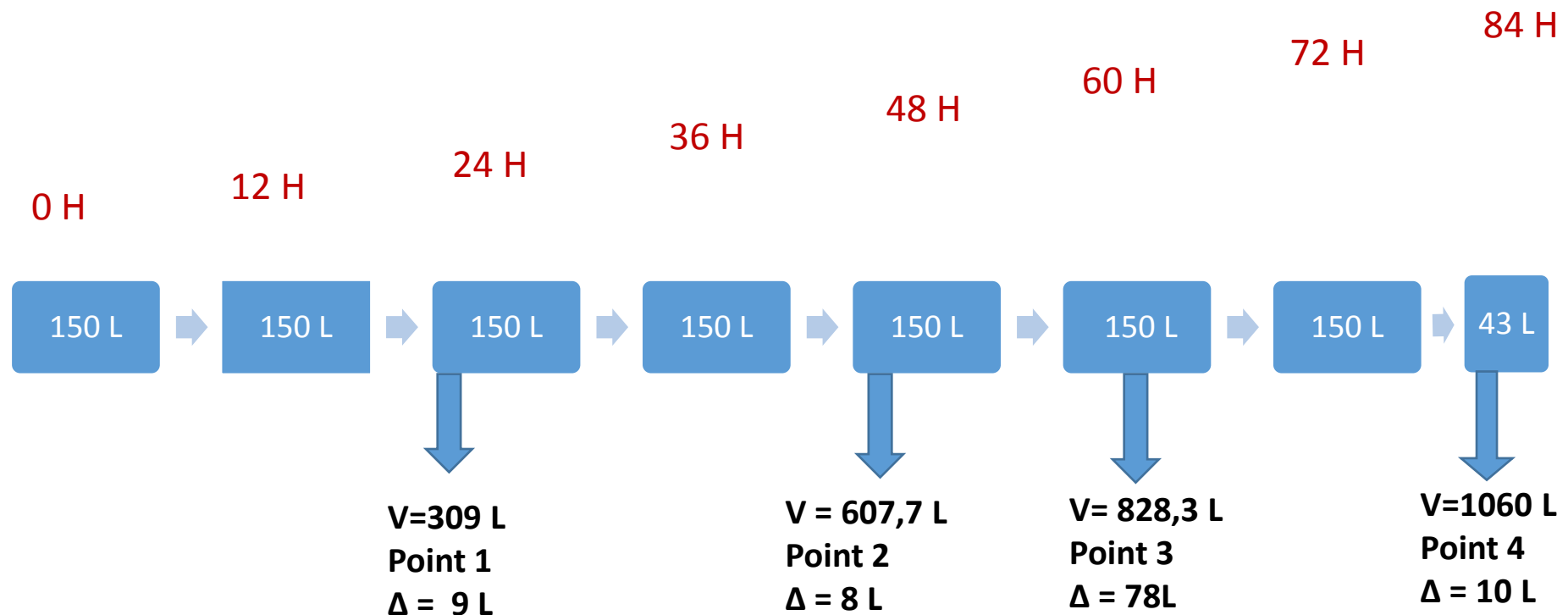
34 séries de 4 analyses en extrémité de chaque tronçon



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Conditions d'écoulement

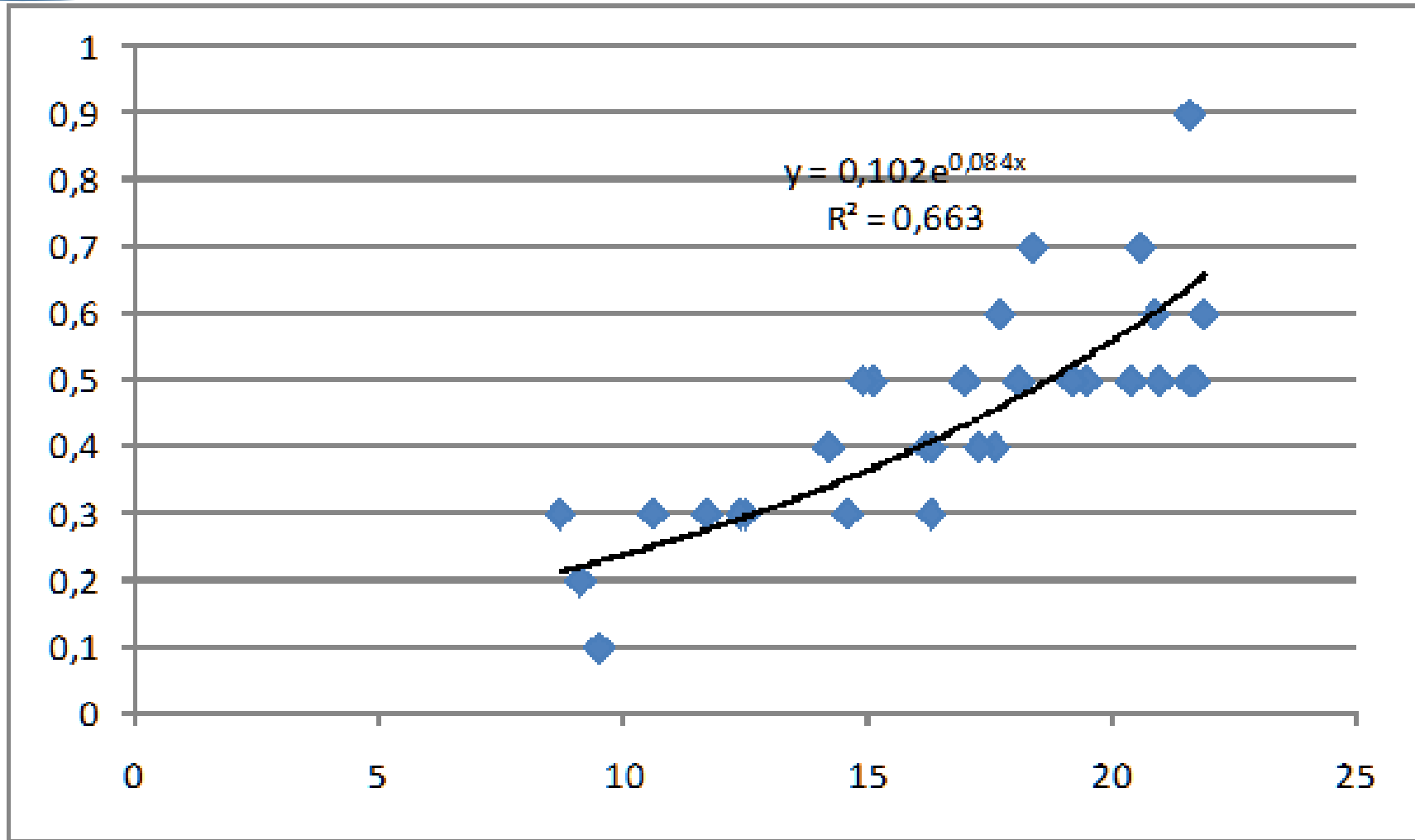
Segmentation des volumes d'eau à l'intérieur de la canalisation pour des purges de 300 L/jour
(150 L à 8 H et 150 L à 20 H au débit de 1,7 m³/h environ)



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Les résultats

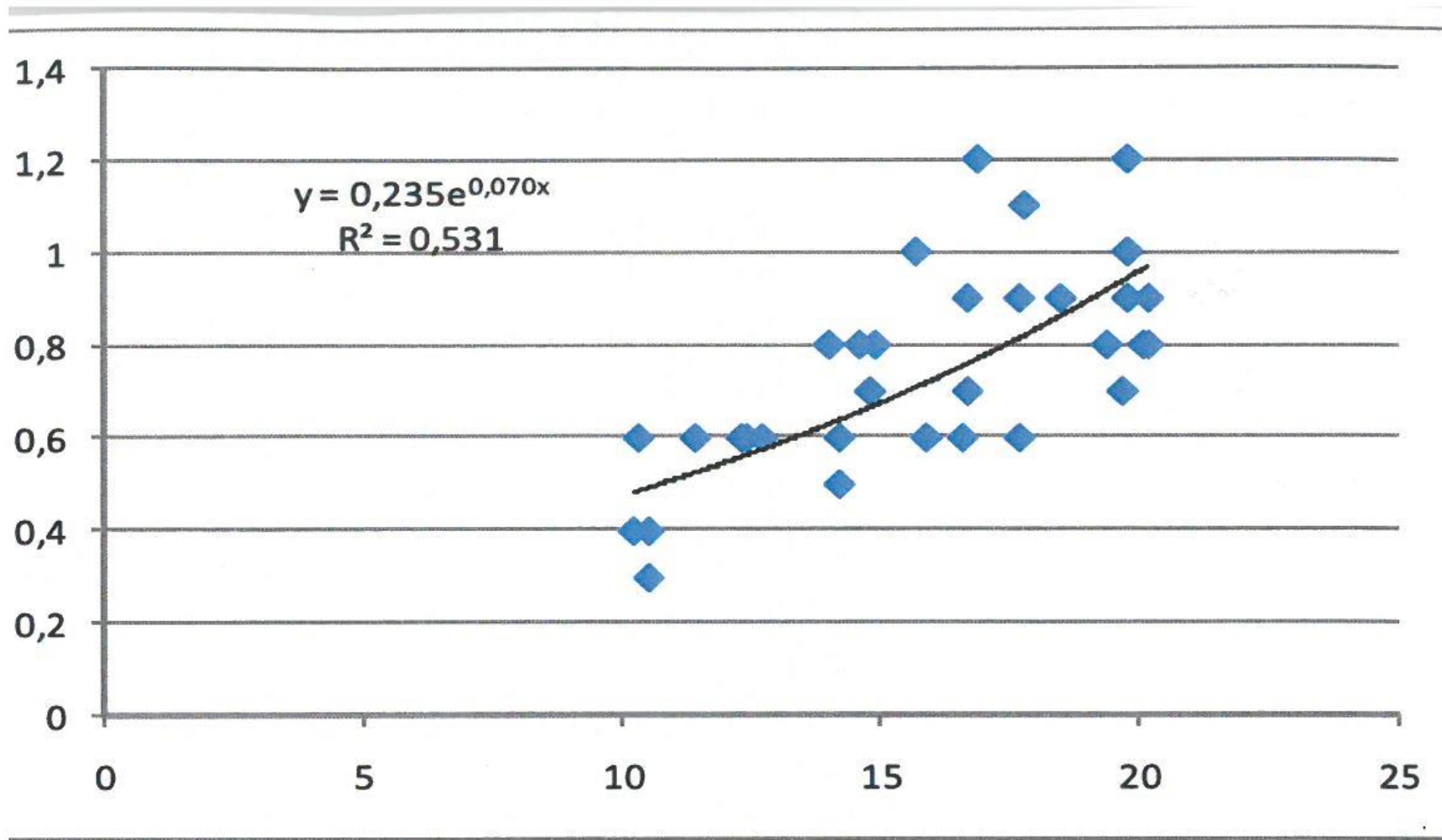
1: $CVM \mu g/L = f(\theta \text{ } ^\circ C)$ pour 24,7 h de temps de contact moyen



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Les résultats

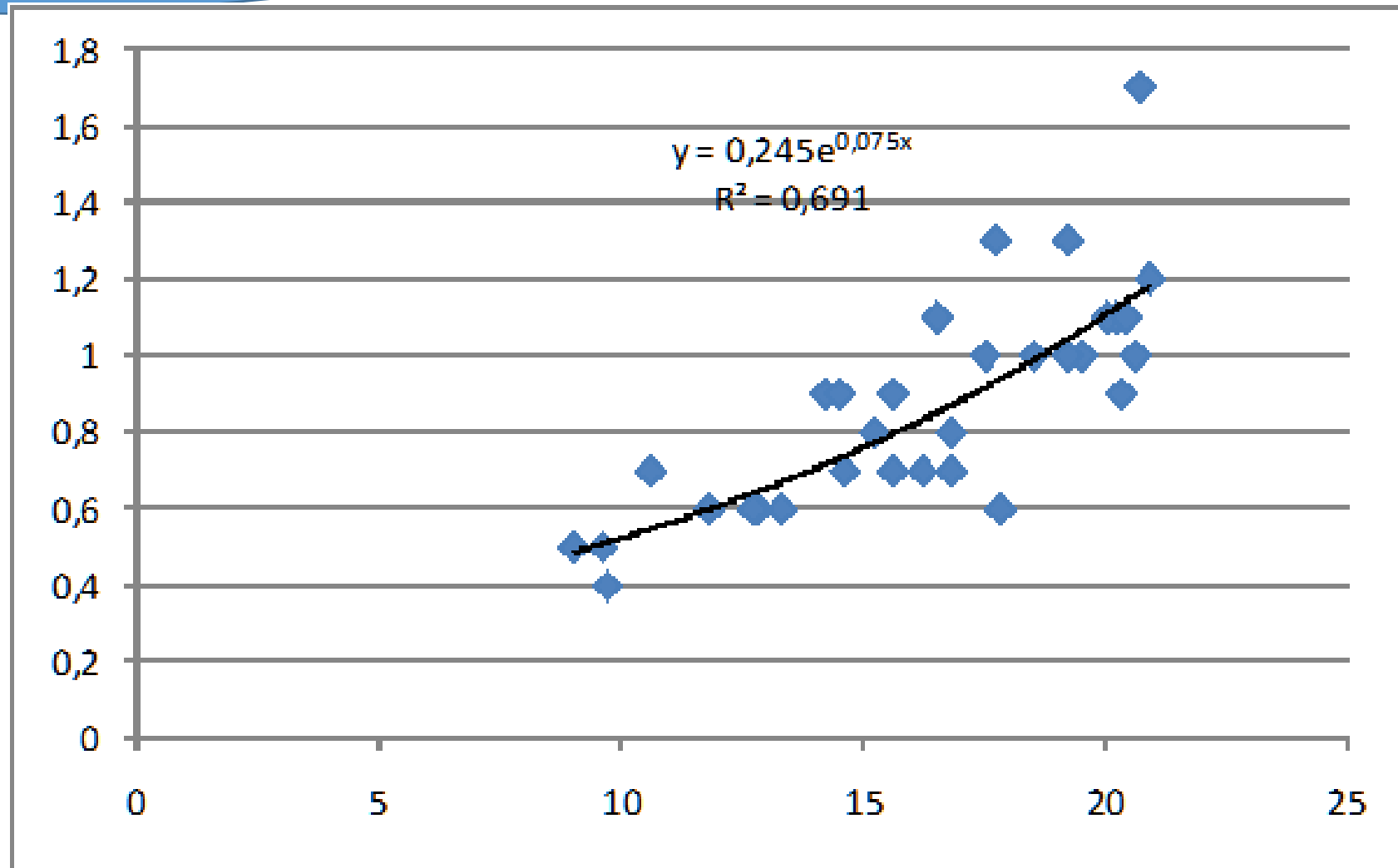
1: $CVM \mu g/L = f(\theta \text{ } ^\circ C)$ pour 48,5 h de temps de contact moyen



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Les résultats

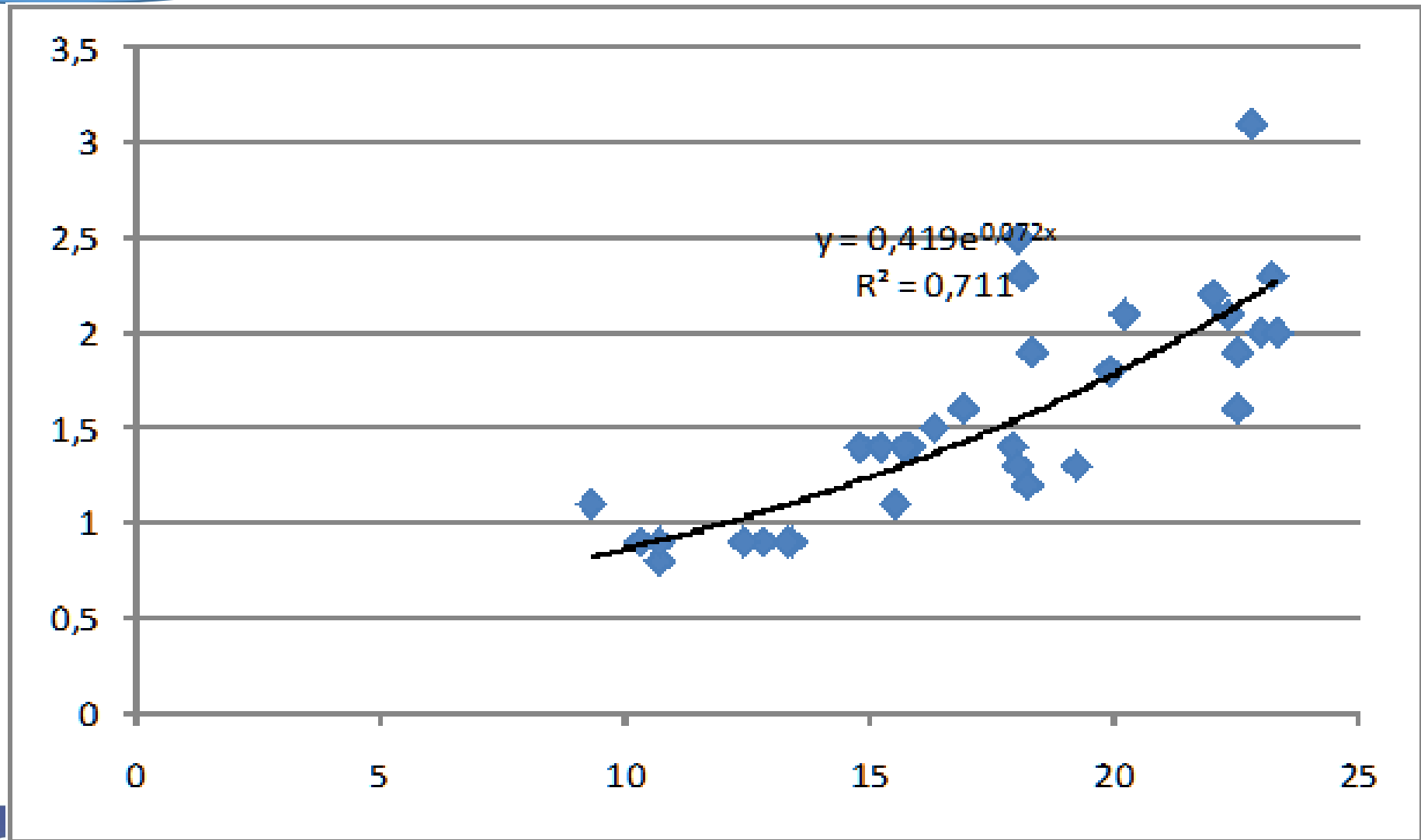
3: CVM = f (température °C) pour 66,2 h de temps de contact moyen



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Les résultats

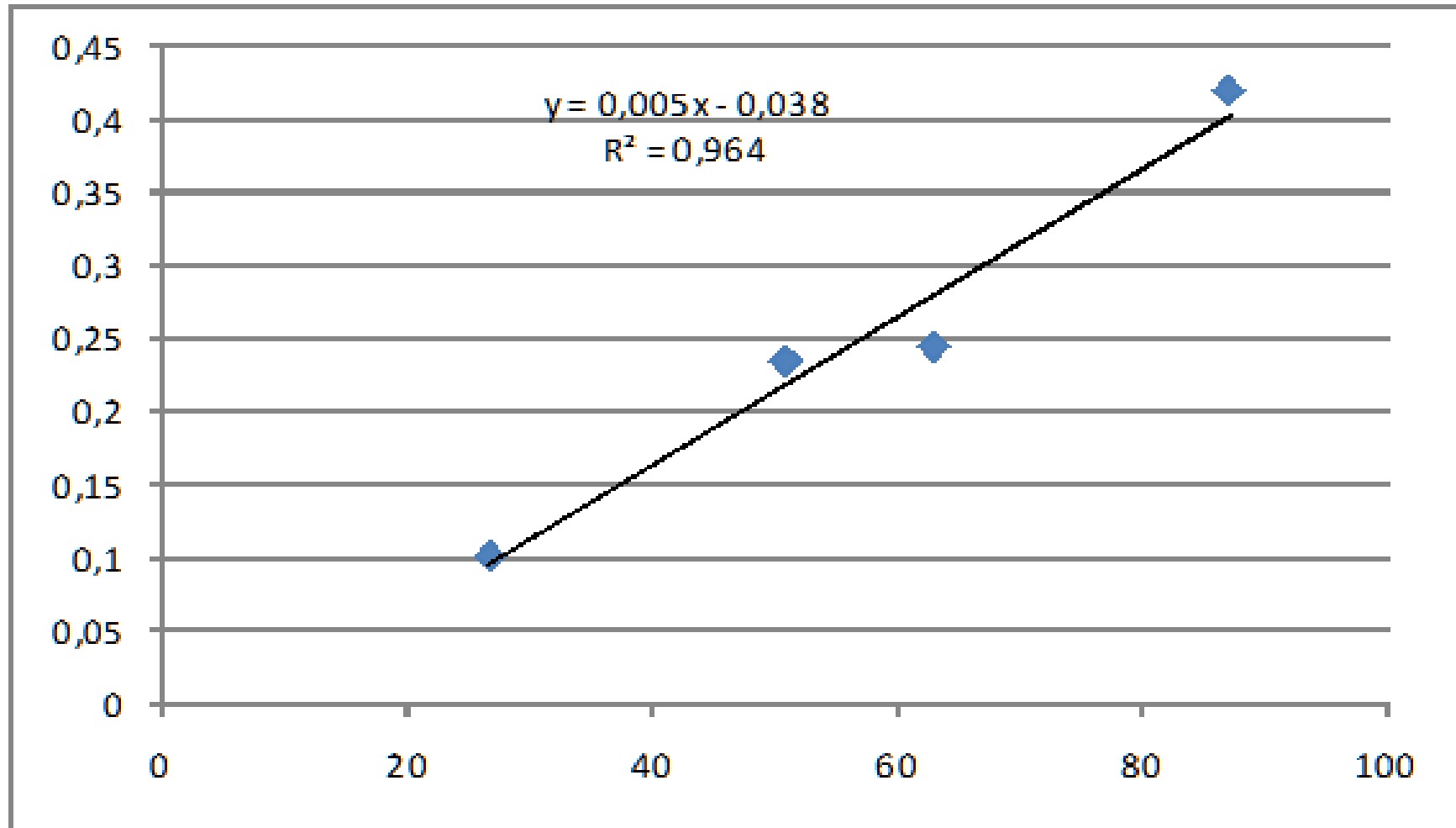
4: $CVM = f(\text{température } ^\circ\text{C})$ pour 84,7 h de temps de contact moyen



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Les résultats

Le coefficient C (temps) de l'équation CVM = $C \exp^{\beta\theta}$ est représenté ci-dessous en fonction du temps de contact en heures pour chaque point de prélèvement.



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Modélisation des résultats

En intégrant cette équation linéaire dans la fonction $CVM = C(\text{temps}) \exp \beta x$, on obtient pour équation complète donnant la teneur en CVM ($\mu\text{g/l}$) dans l'eau, en fonction du temps de contact et de la température (pour la teneur en CVM) dans le matériau de la canalisation :

$$CVM (\mu\text{g/L}) = (0,005h - 0,038)e^{0,076\theta}$$

Temps de Contact (h)		24	48	60	72	88	100	120
$C(t) = 0,005 h - 0,038$		0,082	0,202	0,262	0,322	0,402	0,462	0,562
θ °C	$e^{0,076 \theta}$	Concentration en CVM ($\mu\text{g/L}$) dans l'eau soutirée						
10	2,1383	0,18	0,43	0,56	0,69	0,86	0,99	1,20
12	2,4893	0,21	0,50	0,65	0,80	1,00	1,14	1,40
14	2,8979	0,24	0,59	0,76	0,94	1,17	1,34	1,63
16	3,3737	0,28	0,68	0,89	1,09	1,36	1,56	1,90
18	3,9275	0,33	0,80	1,03	1,27	1,58	1,82	2,21
20	4,4061	0,37	0,89	1,16	1,42	1,78	2,04	2,48
22	5,3228	0,44	1,08	1,40	1,72	2,15	2,47	2,99
24	6,2	0,5	1,24	1,91	1,98	2,48	2,85	3,48

Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Utilisation des résultats

Calcul de l'émission spécifique de la canalisation $C_0.D$ en $\mu\text{g. h}^{-1}.\text{m}^{-2}$

Avec une section de surface $\pi R^2 = 22,06 \text{ cm}^2$, la longueur L , du tuyau dont la contenance est de 150 litres est de 67,990 m.

Ce qui donne une surface de transfert de $\pi D L = \pi \times 0,05 \times 67,990 = 11,32 \text{ m}^2$

L'émission spécifique peut être déterminée à partir des données du tableau précédent pour différentes températures:

$$\checkmark 10^\circ\text{C}: 129 \mu\text{g}/88\text{h} \times 11,32 \text{ m}^2 = 0,129 \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2} \rightarrow 0,061 e^{0,076 \Theta} \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

$$\checkmark 16^\circ\text{C}: 203 \mu\text{g}/88\text{h} \times 11,32 \text{ m}^2 = 0,204 \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2} \rightarrow 0,061 e^{0,076 \Theta} \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

$$\checkmark 22^\circ\text{C}: 321 \mu\text{g}/88\text{h} \times 11,32 \text{ m}^2 = 0,322 \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2} \rightarrow 0,061 e^{0,076 \Theta} \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

Le temps de séjour influe légèrement sur le résultat:

$$\checkmark 16^\circ\text{C}: 284 \mu\text{g}/120\text{h} \times 11,32 \text{ m}^2 = 0,209 \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2} \rightarrow 0,062 e^{0,076 \Theta} \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

$$\checkmark 16^\circ\text{C}: 133 \mu\text{g}/60\text{h} \times 11,32 \text{ m}^2 = 0,195 \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2} \rightarrow 0,058 e^{0,076 \Theta} \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

On retiendra au final: $C_0.D \text{ en } \mu\text{g. h}^{-1}.\text{m}^{-2} = 0,06.e^{0,076 \Theta} \mu\text{g h}^{-1} \text{ m}^{-2}$



Le réseau expérimental mis en place par l'ASTEE Ouest

Utilisation des résultats

Evaluation du flux annuel de migration du CVM dans l'eau

- **Calcul de la masse de PVC (d= 1,38) pour 1m de longueur de tuyau de Φ 63 mm:** Masse de PVC = $\pi (0,031^2 - 0,022^2) \times 1,38 \times 1000 \text{ kg} = 1,26 \text{ kg}$ par mètre
- **Estimation de la masse de CVM dans le matériau du tuyau :**
 - Les résultats (5 valeurs) des analyses de CVM la canalisation sur laquelle les essais ont été réalisés donnent une teneur moyenne de 400 mg/kg
 - On a ainsi dans la masse du matériau $400 \times 1,26 = \mathbf{504 \text{ mg de CVM}}$ par mètre de tuyau.
- **Calcul de l'exportation annuelle en CVM dans l'eau par la canalisation**
 - En retenant comme moyenne annuelle, la température de 16 °C, les émissions peuvent être estimées à: $24 \times 365 \times 0,06 e^{1,216} = 1\,773 \mu\text{g.m}^{-2}$
 - Soit, pour 1 m de tuyau dont la surface intérieure est de 0,167 m² une masse de **296 μg** ($0,167 \text{ m}^2 \times 1\,773 \mu\text{g.m}^{-2}$)

Ainsi, les départs annuels de CVM vers l'eau (en masse), après 40 ans de service, seraient inférieurs au millième de la quantité emprisonnée dans la masse du matériau.



Le Risque CVM

Quel lien entre la teneur en CVM dans le matériau et le flux d'émission?

➤ Problématique des analyses « matériau »

- L'analyse du PVC dissous (n,n-diméthylacétamide) par chromatographie en phase gazeuse ne pose pas de difficulté (limite de quantification : 0,05 PPM)
- **La préparation du PVC (réduction en morceaux!) est pratiquée différemment dans chaque laboratoire, ce qui pose la question du risque de pertes par évaporation avant analyse.**
- Pas d'étude connue sur la dispersion des résultats en fonction des modes de préparation

La grande variabilité des résultats observés (d'un tuyau à l'autre parfois) est elle liée, au moins en partie, à cette phase de préparation?

➤ La méthode de « préparation » de l'échantillon joue probablement un rôle dans la grande dispersion des résultats.

- Nous envisageons des essais pertinents pour trancher cette question



Conclusions

- Cette étude nous a permis d'établir pour la canalisation expérimentale une relation entre la contamination de l'eau par le CVM et les 3 paramètres: teneur en CVM du matériau, temps de contact et température, qui déterminent le transfert de la masse du matériau vers la colonne d'eau:
 - la concentration en CVM dans l'eau :
 - Double lorsque la température passe de 10 à 20 °C pour un temps donné
 - Quadruple en passant de 24 à 72 h de temps de contact pour une température fixe
 - Le modèle établi devrait permettre une évaluation de l'exposition du consommateur plus proche de la réalité que les simples analyses ponctuelles
- On constate que dans des conditions maîtrisées, les dosages du CVM dans l'eau pour des valeurs supérieures à 0,5 µg/L restent dans un intervalle de confiance de +/- 35 %
- Le protocole du dosage du CVM dans le matériau nécessite une optimisation pour obtenir des résultats moins dispersés.



ASTEE 96th Annual Conference – June 6 to 9, 2017

Liège, Belgique

Etude expérimentale des facteurs de transfert dans l'eau du CVM à partir des canalisations PVC

ASTEE Section Ouest-Bretagne, Pays de Loire

