

## Exercices liés au cours hydrologie urbaine n°2 : Législation

Les questions posées dans cet exercice se basent sur un cas d'étude très complet et détaillé, la rivière Allaine dans le canton du Jura (voir présentation dans le cadre du cours). Bien que l'exercice se base sur des données mesurées, certaines d'entre elles ont néanmoins été adaptées dans le cadre des exercices proposés ici. Les résultats et les interprétations issus des calculs ont donc un caractère purement académique et ne sauraient en aucun cas représenter la situation complexe du cours d'eau en question. Toutes les données sont propriété du syndicat SEPE (Station d'épuration de Porrentruy et environs) et de la République et Canton du Jura. L'objectif de cet exercice est de vous faire comprendre comment utiliser la législation et en vigueur et les directives professionnelles dans le cadre d'un cas concret.

La ville de Porrentruy est assainie en grande majorité en mode unitaire. La STEP a été équipée d'un traitement avancé de traitement des micropolluants, avec pour conséquence notamment une réduction des volumes de traitement en entrée (traitement « full-stream »). La qualité de l'eau en sortie est nettement meilleure par temps sec. Se pose la question des rejets pluviaux : sont-ils problématiques ?

Pour répondre à cette question globale, vous devez détailler les questions suivantes. Celles-ci se rapportent en grande partie au module de base (Module B) de la directive VSA « *Gestion des eaux urbaines par temps de pluie* ».

Question 1 : Apport critique en ammonium – comparaison législation

Question 2 : Calcul d'une dose critique d'ammonium

Question 3 : Influence des changements climatiques sur la toxicité des rejets

Question 4 et 5 : Calcul d'un débit critique dans un cours d'eau (2 questions)

Question 6 : Une approche détaillée (STORM) est-elle nécessaire ?

Question 7 : Infiltration des eaux de ruissellement routière

## Partie 1 : Analyse des impacts des déversoirs d'orage

Le Canton du Jura (ENV) dispose d'une sonde de mesure en continu de paramètres physicochimiques (<https://www.ysi.com/exo1>). Cette sonde mesure en continu les paramètres température, oxygène dissous, turbidité, conductivité électrique, ammonium. Elle peut être aisément installée en différents points caractéristiques de cours d'eau ou de réseaux (Figure 1), pour autant que les valeurs à mesurer entrent dans la gamme de mesure de l'instrument.



Figure 1: Sonde multiparamétrique installée dans l'Allaine. Photo F. Fernex, ENV

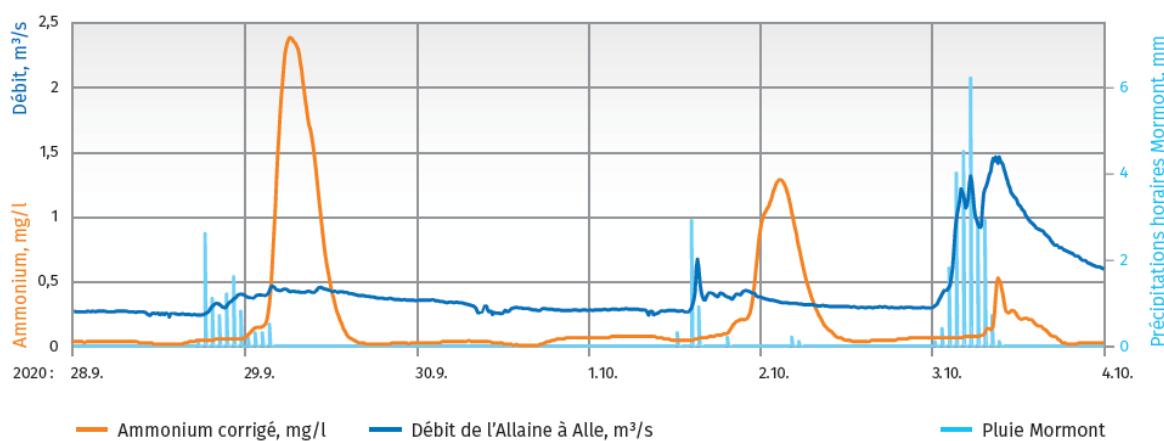


Figure 2: Exemple de résultats de mesures de l'ammonium dans l'Allaine  
(Plan sectoriel des eaux 2021-2030 Canton du Jura, Module 3)

Des mesures ont été effectuées dans l'Allaine (exemple Figure 2), un fichier Excell avec les valeurs d'ammonium mesurées (sous forme de NH<sub>4</sub>) et corrigées sur la base d'analyses en laboratoire (calibration de la sonde) sont données pour un événement de pluie en aval de la STEP, événement pendant lequel les déversoirs du syndicat étaient en action.

**Question 1 : En se basant sur les données de l'ordonnance sur la protection des eaux, O'Eaux, Annexe 2, est-ce que les concentrations mesurées pour cet événement sont problématiques ?**

Dans la procédure du VSA, ce n'est pas tant la **concentration** qui nous intéresse, mais bien une **dose critique**, qui intègre le temps d'exposition et la concentration dans le milieu. Ainsi un événement peut être considéré comme critique si les concentrations sont relativement basses mais qu'il dure très longtemps. Un événement peut être considéré également comme critique avec des concentrations élevées pendant un court laps de temps. La question est de savoir si une dose critique est atteinte ou non.

Les températures du cours d'eau moyennes pendant l'événement du 28/29 septembre 2020 sont de 12.8°C, les valeurs moyennes de pH de 7.96 [-].

**Question 2 :** *En termes de dose critique (VSA STORM), cet événement est-il problématique ?*

**Question 3 :** *Quelles seront les conséquences d'une hausse des températures des rivières, de l'ordre de 2°C (changement climatiques), pour l'écotoxicité de l'ammoniac ?*

## Aide à l'exécution - Calcul d'une dose critique pour NH3

La notion de « dose critique » repose sur le fait que les organismes aquatiques sont exposés continuellement aux polluants, il est donc nécessaire de tenir compte non seulement de la concentration maximale, mais également de l'ensemble de l'exposition au cours du temps et en particulier pendant un épisode de pluie générant une mise en activité d'un déversoir d'orage.

Dans une première étape, il faut convertir les données exprimées en ammonium (NH4) en ammoniac (NH3), toxique pour les poissons. Le degré de formation de NH3 dépend notamment du pH de l'eau, de sa température et de son alcalinité :

$$NH_3 = NH_4 \cdot \frac{1}{10^{(pKs-pH)+1}} \quad \text{avec} \quad pKs = 0.09018 + \frac{2729.9}{273.2+T} \quad \text{Eq. 1}$$

T Température du milieu récepteur après mélange complet (°C)  
 pH pH du milieu récepteur après mélange complet

Une fois les concentrations en NH3 définies, le calcul de la dose se base sur les critères de qualité (cf documents VSA et documents du cours).

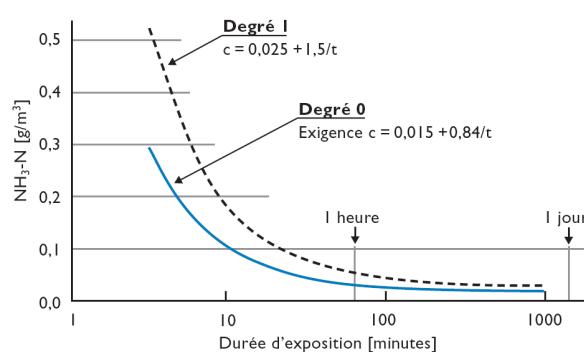


Figure 3: Critère de qualité pour la toxicité ammoniacale, figure S3 de la directive VSA (Module STORM)

La dose critique se calcule en multipliant la concentration critique par le temps d'exposition ( $D_{crit}$ ) et en la comparant avec la dose mesurée ( $D_{NH_3}$ )

$$D_{NH_3} = \sum(C_{NH_3} \cdot \Delta t) \quad \text{Eq. 2}$$

$$D_{crit} = NH_3_{crit} \cdot t_{cum} = A \cdot t_{cum} + B \quad \text{Eq. 3}$$

Un événement de pluie est jugé non-critique si :

$$D_{NH_3} \leq D_{crit} \quad \text{Eq. 4}$$

$C_{NH_3}$	Concentration en ammoniac mesurée dans la rivière (g/m <sup>3</sup> )
$t_{cum}$	Durée cumulée d'exposition (min)
A	Paramètre de base de la dose (g min / m <sup>3</sup> ), A = 0.025 (degré 1) ou 0.015 (degré 0)
B	Facteur temporel du calcul de la dose (g / m <sup>3</sup> ), B = 1.5 (degré 1) ou 0.84 (degré 0)
$D_{NH_3}$	dose d'ammoniac mesurée (g min / m <sup>3</sup> )
$D_{crit}$	dose critique d'ammoniac (g min / m <sup>3</sup> )
$\Delta t$	Pas de temps de la mesure d'ammoniac (min)

Pour répondre à cet exercice, représentez dans un graphique l'évolution de la dose mesurée **cumulée** en fonction du temps, et comparez cette courbe avec les graphes des **doses critiques cumulées** (Degré 0 et Degré 1).

## Calcul du débit critique érosif dans le milieu récepteur

Les polluants issus du déversoir d'orage pourraient s'accumuler dans ce cours d'eau et générer des problèmes importants au niveau sédimentaires. Est-ce que ces polluants vont rester en place, ou peuvent-ils être emportés lors de crues ? Pour le savoir il est nécessaire de connaître les débits critiques de mobilisation des sédiments. Les débits critiques dans le milieu récepteur se basent sur le calcul d'une contrainte de cisaillement limite à partir de laquelle i) les particules sont érodées et ii) le substrat du lit de la rivière est susceptible de se mettre en mouvement et d'emporter l'ensemble des particules piégées dans les interstices du fond du lit. Pour information, le débit annuel moyen de l'Allaine au point considéré est de l'ordre de 3.2 [m<sup>3</sup>/s].

**Question 4 :** *Pour l'Allaine, possédant les caractéristiques décrites dans le Tableau 1, quel est le débit critique en termes de mise en mouvement du lit du cours d'eau ?*

**Question 5 :** *Définir le débit critique pour l'érosion des particules fines (MES) dans l'Allaine, et expliquer la différence par rapport au résultat de la question 4. A-t-on un risque d'accumulation ?*

Tableau 1: Données de base pour le calcul des débits critiques

Paramètres	Valeur	Unité
Pente	0.00364	-
Coeff. Strickler	35	m <sup>1/3</sup> /s
Masse volumique eau	1000	kg/m <sup>3</sup>
Masse volumique lit rivière	2650	kg/m <sup>3</sup>
d <sub>90</sub>	0.096	M
d <sub>m</sub>	0.024	M
Largeur du lit, B	8	M
Pente du talus, α = a/b	1.67	-

## Aide à l'exécution - Base de calcul

De manière générale, la contrainte de cisaillement se calcule à l'aide de :

$$\tau_r = g \cdot \rho \cdot R \cdot I \cdot \left( \frac{K \cdot d_{90}^{1/6}}{26} \right)^{3/2} \quad \text{Eq. 5}$$

- τ<sub>r</sub> Contrainte de cisaillement (N/m<sup>2</sup>)
- ρ Masse volumique de l'eau (kg/m<sup>3</sup>)
- g Constante de gravité (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- K Constante de Strickler (m<sup>1/3</sup>/s)
- R Rayon hydraulique (m)
- I Pente du cours d'eau ( - )

La contrainte de cisaillement « critique » (mise en mouvement du lit du cours d'eau) se calcule à l'aide d'une contrainte de cisaillement critique :

$$\tau_{crit} = 0.047 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_m \quad \text{Eq. 6}$$

- τ<sub>crit</sub> Contrainte de cisaillement critique (N/m<sup>2</sup>)
- ρ<sub>s</sub> Masse volumique du substrat du lit de la rivière (ici 2650 kg/m<sup>3</sup>)

Cette contrainte peut être associée à un débit critique, en se basant sur l'équation de Manning-Strickler (Eq. 7):

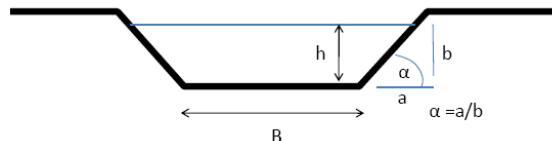
$$Q = A \cdot K \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I} \quad \text{Eq. 7}$$

Avec :

$$A = h \cdot B + h^2 \cdot \alpha \quad \text{Eq. 8}$$

$$R = \frac{A}{B + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + \alpha^2}}. \quad \text{Eq. 9}$$

$h$	Hauteur d'eau dans le cours d'eau (m)
$B$	Largeur du fond du lit (m)
$R$	Rayon hydraulique (m)
$\alpha$	Pente du talus (horizontale/verticale, $a/b$ ), (-)



Le calcul du débit critique s'obtient par itération, en considérant  $\tau = \tau_{\text{crit}}$  (Equations 5 et 6) et en calculant une valeur de rayon hydraulique  $R$  correspondante (Equation 9), ce qui permet de déterminer une hauteur d'eau critique et ainsi le débit critique (Equation 7).

## Calcul d'un débit critique pour l'accumulation de matières en suspension

En fonction des conditions de débits dans le milieu récepteur, les MES issues du déversoir d'orage dans notre cas peuvent s'accumuler sur le lit d'un cours d'eau, être érodée ou transportées plus en aval. Etant donné leur degré de contamination, il est essentiel de calculer le devenir de ces particules.

Pour le calcul du seuil à partir duquel il peut y avoir une accumulation ou non de matières en suspension, la même démarche que précédemment est utilisée, avec cette fois la contrainte de cisaillement critique définie par :

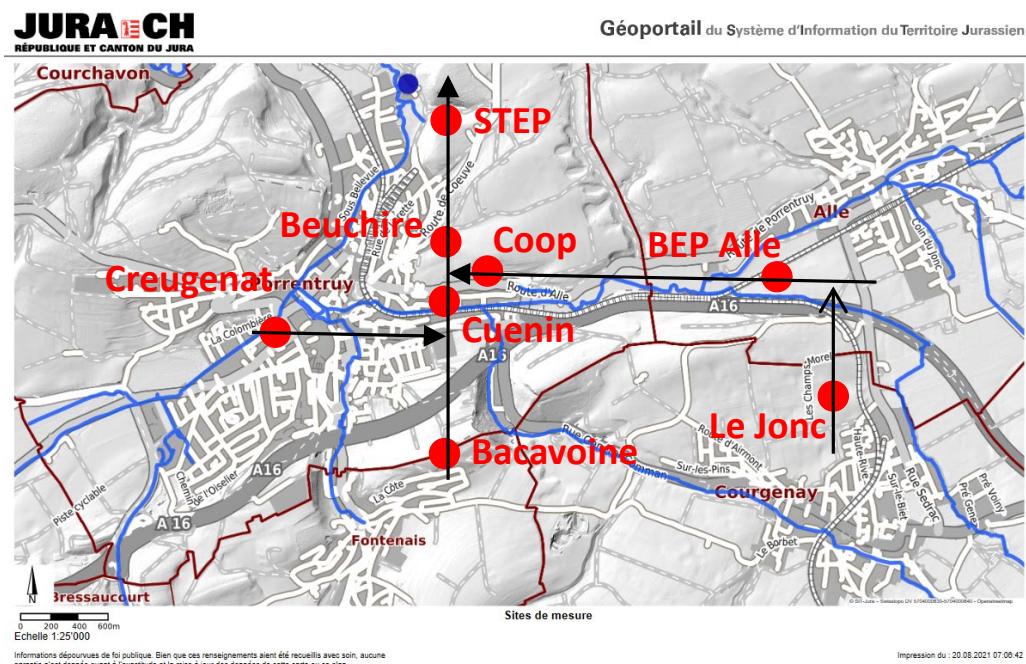
$$\tau_{\text{critMES}} = \Theta \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_m \quad \text{Eq. 10}$$

$\tau_{\text{critMES}}$	Contrainte de cisaillement critique pour les MES ( $\text{N/m}^2$ )
$\Theta$	Contrainte de cisaillement sous forme adimensionnelle

Plusieurs hypothèses sont sous-jacentes pour le choix du paramètre  $\Theta$ . Pour plus d'information, se référer à l'article sur les MES dans le document STORM. Une valeur par défaut de  $4.7 \text{ N/m}^2$  est proposée pour  $\tau_{\text{critMES}}$ .

## **Faut-il mettre en œuvre une approche STORM ?**

En fonction des impacts potentiels des déversoirs d'orage, il peut être nécessaire ou non de faire une analyse plus complète des rejets (Analyse STORM). Les critères de mise en œuvre sont explicités dans le module de base de la directive VSA, au chapitre 8 (notamment 8.4). Conformément à cette directive, une modélisation des rejets en ammonium a été effectuée et les charges déversées par ces différents ouvrages ont été estimées. Ces données sont fournies dans le Tableau 2. Pour information, la charge totale annuelle en entrée de STEP est de 43'070 Kg NH<sub>4</sub>/an.



*Figure 4: Position des principaux déversoirs d'orage dans la ville de Porrentruy et environ avec sens d'écoulement*

Tableau 2: Caractéristiques des principaux déversoirs sur la base d'une modélisation des rejets

Nom du déversoir	Volume annuel déversé [m <sup>3</sup> ]	Nombre déversements par an [-]	Durée déversement moy. par an [h]	Charge annuelle NH4 [kg]	Q <sub>moy</sub> 1 an rivière au point de rejet [m <sup>3</sup> /s]
Le Jonc	16608	29	21	34	1.9
BEP Alle	120271	67	202	282	4.0
COOP	20263	43	110	54	2.5
Bacavoine	12588	47	65.8	29.7	0.5
Creugenat	104194	56	217	209	2.1
Cuenin	2658	10	10	6	2.5
Beuchire	160697	117	420	359	12.0
DO STEP	1020569	112	689	2920	3.2

**Question 6 : Sur la base de ces données, une vérification des mesures selon STORM est-elle nécessaire ? (Cf chapitre 8.4, module de base). Les exigences minimales (chapitre 8.5) sont-elles respectées en aval de la STEP ?**

## Infiltration des eaux de ruissellement routières

Les apports en eaux de ruissellement à la STEP de la ville étant importantes, il se pose la question de pouvoir délester le réseau unitaire en infiltrant les eaux de ruissellement partout où cela peut être possible. La première idée est de se focaliser sur les surfaces publiques, notamment les routes. Un premier test pourrait être mené le long de la route de Courgenay (pente 0.5%), avec environ 9200 véhicules/jour (part poids lourds d'env. 15%), Figure 5. Un nettoyage régulier des bordures de route est effectué tous les deux mois. L'idée ici serait de mettre en place une infiltration sur le bas-côté. On se trouve en partie dans un secteur A<sub>u</sub> de protection des eaux, en partie dans un secteur S3.

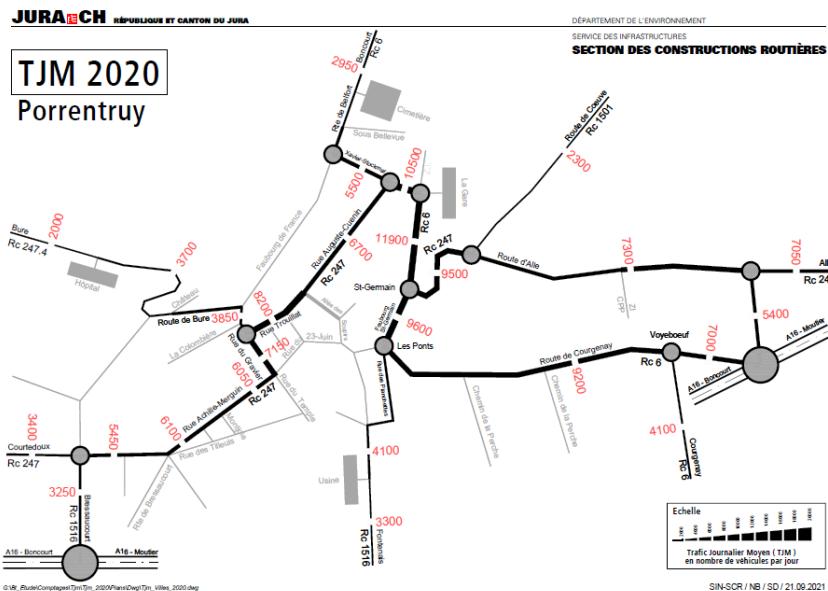


Figure 5: Trafic journalier moyen (TJM) en 2020 pour la ville de Porrentruy

Les analyses pédologiques réalisées à proximité des installations d'infiltration prévues (**données fictives !**) ont fourni les caractéristiques du sol suivantes :

Partie supérieure (Horizon A) de 15 cm, teneur en argile de 10%, teneur en humus : 5%. Partie inférieure (Horizon B) de 50 cm, teneur en argile de 2%. Structure du sous-sol : graviers sableux et roches solides fissurées. Le niveau de la nappe phréatique peut s'élever jusqu'au niveau de l'horizon B lors de précipitations importantes.

En fonction de ces données et en se basant sur le Module de Base de la directive VSA « *Gestion des eaux urbaines par temps de pluie* » (Tableau B8, B11) et les slides du cours, vous devez estimer la possibilité d'infiltrer ces eaux de ruissellement.

**Question7 : Peut-on infiltrer ces eaux de ruissellement routières ?**