

Exercice n° HU 0601

Réseau unitaire et réseau séparatif : Flux de pollution vers le milieu récepteur.

Avant propos

En réseau unitaire, les débordements successifs aux différents déversoirs d'orages conduisent à une pollution intermittente du milieu récepteur. En temps de pluie, la concentration du polluant est fonction de la concentration des effluents des eaux usées, de la concentration des eaux de pluies et de la remobilisation des sédiments présents dans le réseau unitaire (cf. Figure 1a).

Sur un réseau séparatif, différentes connexions illégales ou involontaires entre le réseau Eaux Claires et le réseau Eaux Usées peuvent conduire à l'existence dans le réseau Eaux Claires d'un flux parasite pollué provenant du réseau Eaux Usées et qui conduira par suite à une pollution continue supplémentaire du milieu récepteur (cf. Figure 1b). Ce flux parasite est supposé dans l'exercice être constant et égal à une fraction α du flux transitant dans le réseau Eaux Usées.

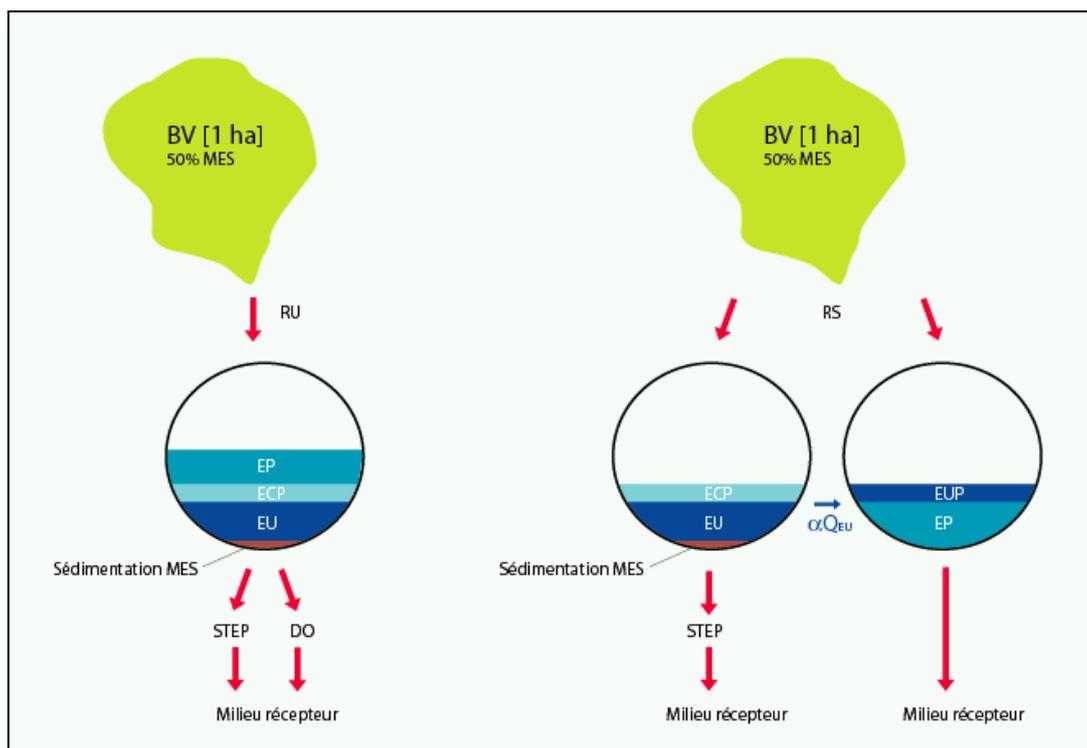


Figure 1. Schéma des réseaux unitaire et séparatif. Notations : v. section Données/Notations

Objectifs de l'exercice

L'objectif de l'exercice est de comparer pour différentes valeurs α le flux annuel de pollution exporté dans le milieu récepteur par les deux types de réseau et de déterminer la fraction α telle que le réseau séparatif conduise à une pollution en MES du milieu récepteur aussi importante que le réseau unitaire. Une analyse de sensibilité mettra ensuite en évidence les variables critiques du problème. On conclura enfin sur les conditions propices ou défavorables à la mise en place d'un réseau séparatif.

Questions

On vous demande de :

⊙ Partie I

Question 1. Variables communes aux deux types de réseau :

- Déterminer le débit d'Eaux de Pluie moyen sur la durée ΔT_p (Q_{EP}),
- Déterminer la concentration en MES du débit d'Eau de Pluie (C_{EP}),
- Déterminer le débit d'Eaux Usées, le débit d'Eaux Claires Parasites, le débit de Temps Sec et la capacité de traitement de la STEP située à l'aval du réseau collectant les Eaux Usées,
- Déterminer la Concentration en MES en temps sec (C_{TS}) (on pourra déterminer le Flux de MES transporté par le RU pendant la période de temps sec, $F_{TS}(\Delta T_s)$).

Question 2. Cas du réseau unitaire (RU) :

- Déterminer le débit de Temps de Pluie dans le RU (Q_{TP}),
- Déterminer la Concentration en MES dans le RU en temps de pluie (C_{TP}) (on pourra déterminer d'abord le Flux de MES transporté par le RU en temps de pluie, $F_{TP}(\Delta T_p)$, sans les sédiments remobilisés dans un premier temps puis avec ces derniers),
- Déterminer le volume d'eau (V_{DO}) et la quantité de MES déversé sur l'année par le déversoir d'orage du RU dans le milieu récepteur ($F_{RU DO}$).
- Déterminer le flux de MES entrant dans la STEP sur la période de temps de pluie ainsi que pendant la période de temps sec
- Déterminer le flux de MES sortant de la STEP sur l'année ($F_{RU STEP}$)
- En déduire le flux de MES total déversé dans le milieu récepteur ($F_{RU tot}$)

Question 3. Cas du réseau séparatif (RS) :

- Déterminer la concentration en MES dans les Eaux Usées Parasites arrivant dans le réseau Eaux Claires et provenant du réseau Eaux Usées (C_{EUP}),

Pour une valeur de α donnée :

- Déterminer le Flux de MES déversé par le Réseau Eaux Claires dans le milieu récepteur en temps sec puis en temps de pluie
- En déduire le flux de MES déversé sur l'année dans le milieu récepteur par le Réseau Eaux Claires (F_{EC})
- Déterminer le Flux de MES entrant dans la STEP par temps sec / par temps de pluie / et celui correspondant au curage du réseau Eaux Usées.
- Déterminer le flux total annuel sortant de la STEP ($F_{RS STEP}$)
- En déduire le flux de MES total annuel déversé dans le milieu récepteur par le réseau séparatif ($F_{RS tot}$)

Question 4. Comparaison de la pollution exportée par les deux réseaux :

Déterminer la fraction α telle que le réseau séparatif conduise à une pollution en MES du milieu récepteur aussi importante que le réseau unitaire (en flux annuel). (fraction d'interconnexion usuelle comprise entre 0 et 0.05, importante : supérieure à 0.05).

⊙ Partie II :

Question 5. Analyse de sensibilité :

Soit $R_F = F_{RS tot} / F_{RU tot}$. Déterminer la sensibilité relative S_X du rapport R_F aux différentes variables X_1 , X_2 , $X_3...$ du problème autour de la configuration initiale \bar{x}_0 définie par les différentes valeurs données à ces variables dans l'énoncé (ie dans le tableau des données). On définit la sensibilité à la variable X_i de la façon suivante :

$$(S_{X_i})_{\bar{x}=\bar{x}_0} = \left[\left(\frac{\partial R_F}{\partial X_i} \right) / \left(\frac{R_F}{X_i} \right) \right]_{\bar{x}=\bar{x}_0} \text{ qui peut être approchée par le rapport } S_{X_i} = \frac{\Delta R_F}{R_F} \cdot \frac{X_i}{\Delta X_i}$$

On pourra par exemple appliquer successivement (et indépendamment) sur chacune des variables X_i une variation de +10% (ΔX_i), calculer la variation correspondante ΔR_F sur le rapport R_F et en déduire la sensibilité S_{X_i} à la variable X_i choisie.

- A quelles variables le rapport R_F est-il le plus sensible ?
- Quelles variables n'ont aucune influence sur ce rapport ?

Question 6. Détermination du rapport RF pour les cas extrêmes :

En appréciant les valeurs extrêmes plausibles pour chacune des variables X_i , déterminer les configurations qui sont favorables à l'établissement d'un réseau séparatif plutôt qu'à un réseau unitaire (on partira toujours de la configuration initiale \vec{x}_0 en changeant les valeurs d'une seule variable X_i à la fois).

Question 7. Commentaires :

- Conclusions de l'étude
- Commentaires sur l'approche
- Suggestions

Hypothèses

MES : Lessivage, sédimentation dans les collecteurs et remobilisation des dépôts...

- Volume annuel de MES accumulés par hectare de surface urbaine : seule la partie située sur les surfaces imperméables est lessivée (en totalité) pendant le ruissellement.
- Pour le réseau Eaux Claires du réseau séparatif, pas de sédimentation dans les collecteurs.
- Toute la quantité de sédiments en dépôt dans le réseau Eaux Usées est exportée chaque année hors du réseau.
 - Pour le réseau séparatif, la remise en mouvement des dépôts est réalisée pendant la période de pluie. La masse remise en mouvement est supposée répartie de façon homogène sur cette période.
 - Pour le réseau unitaire, ces dépôts sont lessivés une fois par an lors d'opérations de curage du réseau. Une chasse de quelques heures est réalisée à cet effet. Le débit de chasse total ($Q_{EU}+Q_{chasse}$) ne dépasse pas la capacité de traitement de la STEP. On suppose que toute la masse de sédiment remise en mouvement est envoyée vers la STEP.
- **Remarque :** La quantité de MES sédimentée dans le réseau Eaux Usées provient de la sédimentation d'une partie des MES contenues dans le débit de temps sec (comprenant EU et ECP). Par soucis de simplification, le flux annuel de pollution en MES provenant des EU + ECP est supposé correspondre ici à la somme du volume de dépôts dans les collecteurs remobilisés annuellement et du flux provenant des concentrations en MES données dans l'énoncé (en d'autres termes, il ne faut pas calculer la partie du flux de MES provenant des EU+ECP qui va sédimenter dans le réseau).

Eaux de ruissellement, Eaux Claires Parasites, et stockage dans le réseau...

- Pas de ruissellement en provenance des surfaces perméables.
- Pas de stockage d'eau dans les collecteurs.
- Pour le réseau séparatif, les eaux claires parasites sont uniquement collectées par le réseau Eaux Usées.
- Pour le réseau séparatif, les branchements clandestins ou erronés induisent des flux d'eau et de pollution qui vont uniquement du réseau Eaux Usées vers le réseau Eaux Claires.
- Raisonnement à effectuer sur une base annuelle ; dynamique temporelle des polluants non prise en compte (dépôt, accumulation, lessivage...) sauf de façon globale pour les sédiments dans le collecteur Eaux Usées.
- Raisonnement à effectuer sur la base d'une surface urbaine de superficie un hectare.

Données de l'exercice / Notations

Les données sont à introduire dans une feuille de calcul à construire. Si souhaitée, le fichier Excel « HU0601_énoncé.xls » contenant des éléments de correction peut être utilisé.

Hauteur de pluie annuelle	H_p	1100 mm/an
Durée d'une année (heures)	ΔT	
Durée annuelle du ruissellement (temps de pluie)	ΔT_p	300 h
Durée annuelle de temps sec	ΔT_s	
Nombre d'événements pluvieux	N_p	200
Densité de population	P	120 EH/ha
Consommation par EqH journalière moyenne	q	300 l/jour
Pourcentage de surface imperméable	IMP	50 %
Volume annuel de MES accumulés par hectare de surface urbaine	V_{MES}	1000 kg/ha/an
Volume de sédiments (MES) accumulé par dépôt dans le réseau EU et remobilisé chaque année par temps de pluie ou lors d'opération de curage	V_{SED}	300 kg/ha/an
Concentration en MES dans débit EU	C_{EU}	300 mg/l
Concentration en MES dans débit ECP	C_{ECP}	50 mg/l
Concentration en MES dans débit EP	C_{EP}	
Débit Eaux Usées pures	Q_{EU}	
Débit d'Eaux Claires Parasites (Réseau unitaire)	Q_{ECP}	$a \cdot Q_{EU}$
Débit d'Eaux Usées Parasites (Réseau séparatif)	Q_{EUP}	$\alpha (Q_{EU} + Q_{ECP})$
Débit de Temps Sec (Réseau unitaire)	Q_{TS}	
Débit de Temps de Pluie (Réseau unitaire)	Q_{TP}	
Débit Eaux de Pluie (ruissellement pur)	Q_{EP}	
Réseau Unitaire : capacité de traitement de la STEP (débit aval de DO)	Q_{STEP}	$b \cdot Q_{TS}$
Débit déversé dans le milieu récepteur au niveau du déversoir d'orage	Q_{DO}	
Volume annuel déversé au niveau du DO	V_{DO}	
Flux de MES transporté pendant la période Δt par le débit Q_X correspondant au type de flux X	$F_X(\Delta t)$	
Coefficient utilisé pour dimensionner la STEP	b	2
Coefficient d'infiltration déterminant le débit d'ECP dans le réseau Eaux Usées (pour les réseaux unitaires et séparatifs)	a	0.2
Coefficient d'exfiltration du réseau Eaux usées vers le réseau Eaux Claires	α	
Rendement épuratoire de la STEP (coefficient abattement des MES)	r	80 %