

Exercice n° HU 0601 - Corrigé

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

Données de l'exercice :

Les résultats sont aussi sur le fichier Excel « HU0601_corrige.xls ».

Résolution - Partie I

⊙ Démarche à appliquer :

Le raisonnement suivant est basé uniquement sur les flux de MES transportés sur une année complète par l'un ou l'autre réseau de collecteurs (pour les notations cf. énoncé).

⊙ Question 1. Pour les deux réseaux :

Débit d'Eaux de Ruissellement (EP) :	$Q_{EP} = H_p \cdot IMP \cdot A / \Delta T_p$
Volume de MES provenant des Eaux de Ruissellement :	$V_{MOB} = V_{MES} \cdot IMP$
Débit d'Eaux Usées (sans Eaux Claires Parasites) :	$Q_{EU} = q \cdot p$
avec $q = 300l/jour$: consommation par EqH et p : population en EqH	
Volume annuel de MES provenant des effluents (ECP + EU)	
et entrant dans le réseau Eaux Usées :	$V_{EFF} = (C_{ECP} \cdot Q_{ECP} + C_{EU} \cdot Q_{EU}) \cdot \Delta T$
Flux annuel total de MES produit par l'ensemble du réseau d'assainissement (exporté dans le milieu récepteur (MR) + récupéré dans la STEP) :	$F_{tot}(\Delta T) = V_{EFF} + V_{SED} + V_{MOB}$

⊙ Question 2. Pour le réseau séparatif (RS) :

La chasse du réseau Eaux Usées du réseau RS est réalisée artificiellement par temps sec. On a :

Volume annuel de MES provenant des eaux de pluie et se déversant dans le MR par le réseau Eaux Claires :	$V_1 = V_{MOB}$
Volume annuel provenant du réseau EU et allant dans le réseau EC :	$V_2 = \alpha \cdot V_{EFF}$
Volume annuel déversé par le réseau EC vers le MR :	$F_{EC}(\Delta T) = V_1 + V_2$
Volume annuel exporté par le réseau EU vers la STEP :	$V_{eSTEP} = (1-\alpha) \cdot V_{EFF} + V_{SED}$
Volume annuel exporté par la STEP vers le MR :	$F_{STEP}(\Delta T) = (1-r) \cdot V_{eSTEP}$
Volume total exporté vers le MR sur une année :	$F_{RS}(\Delta T) = F_{EC}(\Delta T) + F_{STEP}(\Delta T)$
Volume total conservé et traité par la STEP sur une année :	$V_{RScons} = r \cdot V_{eSTEP}$

« Rendement » total annuel moyen du système « réseau séparatif » (Abattement):

$$A_{RS} = V_{RScons} / (V_{EFF} + V_{SED} + V_{MOB}) = r \cdot ((1-\alpha) \cdot V_{EFF} + V_{SED}) / (V_{EFF} + V_{SED} + V_{MOB})$$

Volume de MES exporté par temps sec par l'ensemble du réseau RS vers le MR :

$$F_{RS}(\Delta T_s) = (1-r) \cdot [(1-\alpha) V_{EFF} \cdot \Delta T_s / \Delta T + V_{SED}] + \alpha V_{EFF} \cdot \Delta T_s / \Delta T$$

Concentration moyenne en MES des débits liquides exportés par le réseau RS par temps sec :

$$C_{RS}(\Delta T_s) = F_{RS}(\Delta T_s) / (Q_{EU} + Q_{ECP}) / \Delta T_s$$

Volume de MES exporté par temps de pluie par l'ensemble du réseau RS vers le MR :

$$F_{RS}(\Delta T_p) = (1-r) \cdot [(1-\alpha) V_{EFF} \cdot \Delta T_p / \Delta T] + V_{MOB} + \alpha V_{EFF} \cdot \Delta T_p / \Delta T$$

Concentration moyenne en MES des débits liquides exportés par le réseau RS par temps de pluie :

$$C_{RS}(\Delta T_p) = F_{RS}(\Delta T_p) / (Q_{EP} + Q_{EU} + Q_{ECP}) / \Delta T_p$$

⊙ **Question 3. Pour le réseau Unitaire (RU) :**

La chasse du réseau RU est supposée faite automatiquement par les débits d'eau de ruissellement.

Par temps sec :

Volume de MES transitant dans le RU et exporté vers la STEP: $V_{e_{STEP}}(\Delta T_s) = V_{EFF} \cdot \Delta T_s / \Delta T$

Volume de MES exporté par la STEP vers le MR: $F_{STEP}(\Delta T_s) = (1-r) \cdot V_{e_{STEP}}(\Delta T_s)$

Volume de MES exporté par l'ensemble du RU vers le MR : $F_{RU}(\Delta T_s) = F_{STEP}(\Delta T_s)$

Par temps de pluie

Volume de MES transitant dans le réseau :

$$V_3 = V_{MOB} + V_{SED} + V_{EFF} \cdot \Delta T_p / \Delta T$$

Débit liquide entrant dans le réseau :

$$Q_{TP} = Q_{EP} + Q_{TS} = Q_{EP} + Q_{ECP} + Q_{EU}$$

Proportion β du débit liquide Q_{TP} dirigé vers la STEP :

$$\beta = Q_{STEP} / Q_{TP} = a Q_{TS} / (Q_{EP} + Q_{ECP} + Q_{EU})$$

Proportion β' du débit solide V_3 dirigé vers la STEP :

$$\beta' = \beta$$

Volume de MES entrant dans la STEP :

$$V_{e_{STEP}}(\Delta T_p) = \beta \cdot V_3$$

Volume de MES exporté par la STEP vers le MR :

$$F_{STEP}(\Delta T_p) = (1-r) \cdot V_{e_{STEP}}(\Delta T_p)$$

Volume de MES déversé dans le MR par le déversoir d'orage :

$$F_{DO}(\Delta T_p) = (1-\beta) \cdot V_3$$

Volume de MES total exporté par le RU en temps de pluie : $F_{RU}(\Delta T_p) = F_{STEP}(\Delta T_p) + F_{DO}(\Delta T_p)$

Volume total exporté vers le MR sur une année : $F_{RU}(\Delta T) = F_{RU}(\Delta T_p) + F_{RU}(\Delta T_s)$

$$F_{RU}(\Delta T) = V_{SED} + V_{MOB} + V_{EFF} - [r \cdot Q_{STEP} / (Q_{EU} + Q_{ECP} + Q_{EP}) * (V_{SED} + V_{MOB} + V_{EFF} \cdot \Delta T_p / \Delta T)] - r \cdot V_{EFF} \cdot \Delta T_s / \Delta T$$

Volume total conservé et traité par la STEP sur une année:

$$V_{RU_{cons}} = [r \cdot Q_{STEP} / (Q_{EU} + Q_{ECP} + Q_{EP}) * (V_{SED} + V_{MOB} + V_{EFF} \cdot \Delta T_p / \Delta T)] + r \cdot V_{EFF} \cdot \Delta T_s / \Delta T$$

« Rendement » total moyen annuel du système « réseau unitaire » (Abattement) :

$$A_{RS} = V_{RU_{cons}} / (V_{EFF} + V_{SED} + V_{MOB})$$

Concentration moyenne des effluents exportés par l'ensemble du système en temps sec :

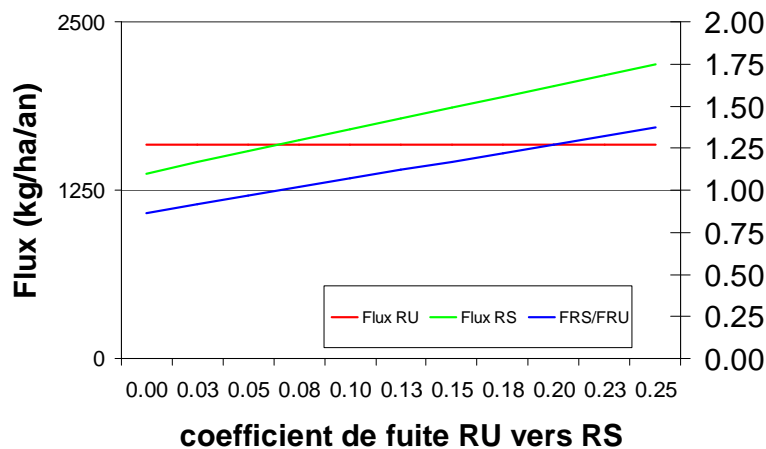
$$C_{RU}(\Delta T_s) = F_{RU}(\Delta T_s) / (Q_{EU} + Q_{ECP}) / \Delta T_s$$

Concentration moyenne des effluents exportés par l'ensemble du système en temps de pluie :

$$C_{RU}(\Delta T_p) = F_{RU}(\Delta T_p) / (Q_{EP} + Q_{EU} + Q_{ECP}) / \Delta T_p$$

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

Les valeurs des différents flux et concentrations sont données dans le tableau ci-dessous pour la configuration décrite dans l'énoncé de l'exercice. La variation du rapport R_F lorsque l'on modifie le taux de connexions parasites entre les réseaux Eaux Usées et Eaux Claires du RS est présentée sur la figure ci dessous.



⊙ **Commentaires :**

Il suffit d'un très faible taux de connexions parasites pour que le réseau séparatif exporte plus de MES dans le MR que le réseau unitaire. Dans cette configuration, la valeur critique de connexion est $\alpha \sim 0.065$. Si les flux annuels exportés sont similaires pour les deux types de réseau, la dynamique de la pollution ne l'est en revanche pas : pour le réseau unitaire, les concentrations en temps sec et en temps de pluie sont très différentes (rapport 1 à 3 avec une forte concentration en période de débordement) ; elles le sont beaucoup moins pour le réseau séparatif (rapport 1 à 1,5).

Variables communes aux deux réseaux

Débit Eaux de Pluie	QEP	m3/h/ha	18.3
Débit Eaux Usées	QEU	m3/h/ha	1.5
Débit Eaux Claires Parasites	QCEP	m3/h/ha	0.3
Capacité de traitement de la STEP	QSTEP	m3/h/ha	3.6

Réseau Unitaire

flux déversés par le Déversoir d'Orage			
Débit de déversement par temps de pluie	QDO	m3/h/ha	16.5
Flux MES déversé dans le milieu récepteur	FDO(DTp)	kg/ha	772
flux déversés par la STEP			
Flux MES entrée STEP pendant temps sec		kg/ha	3934
Flux MES entrée STEP pendant temps pluie		kg/ha	168
Flux sortie STEP temps sec		kg/ha	787
Flux sortie STEP temps pluie		kg/ha	34
Flux sortie STEP annuel	FRU STEP	kg/ha	820
Flux total annuel exporté par le RU	FRU Tot	kg/ha	1592
Abattement RU	ARU	%	67
Flux temps pluie exporté par RU	FRU(DTP)	kg/ha	805
Flux temps sec exporté par RU	FRU(DTS)	kg/ha	787
Concentration moyenne (EU+EP) temps pluie exporté	CRU(DTP)	mg/l	146
Concentration temps sec (EU) exporté par RU	CRU(DTS)	mg/l	52

Réseau Séparatif

Coefficient de fuite du réseau Eaux Usées	α		0	0.025	0.05	0.075
flux déversés par le Réseau Eaux Claires						
en temps sec	FEC(DTs)	kg/ha	0	98	197	295
en temps de pluie	FEC(DTp)	kg/ha	500	503	507	510
sur l'année	FEC(DT)	kg/ha	500	602	704	806
flux déversés par la STEP						
Flux MES entrée STEP tous temps	FEU entrée	kg/ha	4373	4272	4170	4068
Flux MES sortie STEP tous temps	FEU STEP	kg/ha	875	854	834	814
Flux total annuel exporté par le RS	FRS Tot	kg/ha	1375	1456	1538	1619
Abattement RS	ARS	%	73	71	70	68
Flux temps pluie exporté par RS	FRS(DTP)	kg/ha	530	533	536	538
Flux temps sec exporté par RS	FRS(DTS)	kg/ha	845	923	1002	1081
Concentration moyenne (EU+EP) temps pluie exporté	CRS(DTP)	mg/l	88	88	89	89
Concentration temps sec (EU) exporté par RS	CRS(DTS)	mg/l	55	61	66	71
Rapport Flux RS / Flux RU	RF	(-)	0.86	0.91	0.97	1.02

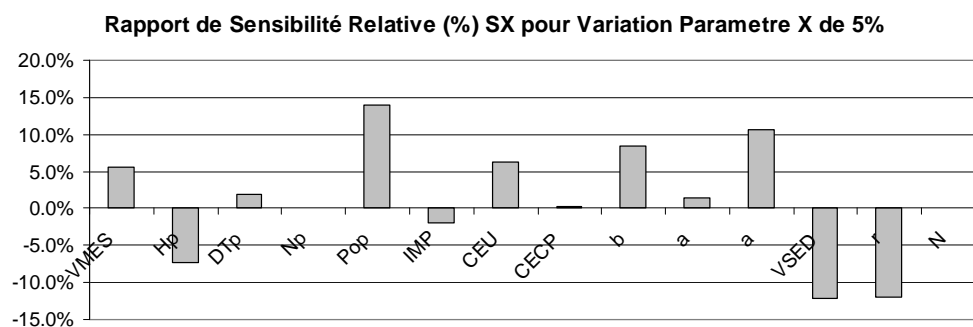
Résolution - Partie II

⊙ Question 5. Résultats de l'analyse de « sensibilité relative » :

La sensibilité **relative** S_X du rapport R_F aux différentes variables X_1, X_2, X_3, \dots a été déterminée autour de la configuration initiale définie par les différentes valeurs données à ces variables dans l'énoncé.

Les résultats montrent pour cette configuration et suivant les hypothèses effectuées dans l'énoncé pour résoudre le problème, que le rapport R_F est peu sensible à l'ensemble des variables impliquées. La sensibilité **relative** est pour toutes les variables inférieure à 15% en valeur absolue. Pour une variation initiale de 5% d'une variable donnée, la variation du rapport R_F est donc inférieure à $5\% * 15\% < 0.7\%$!!! Les variables qui ont pour cette configuration la plus grande influence sont :

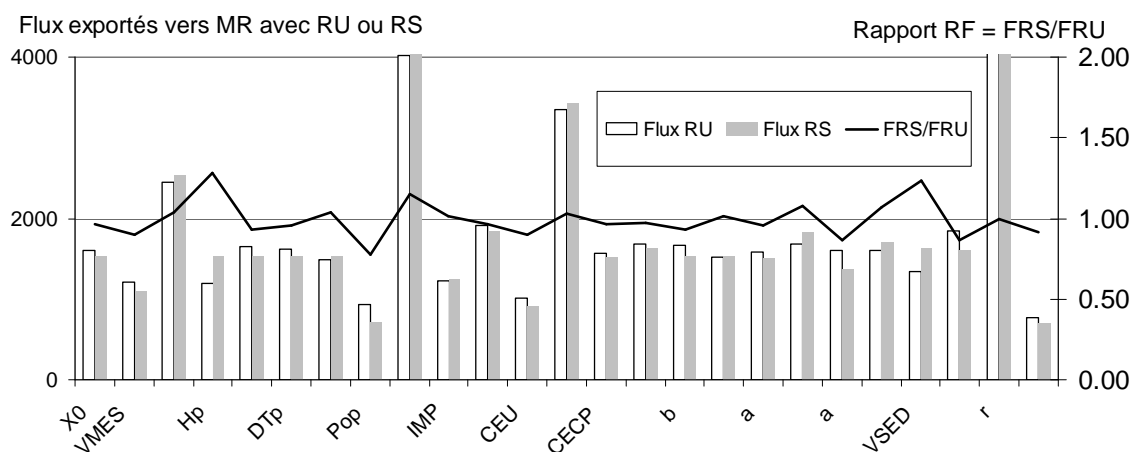
- Influence positive (en faveur du Réseau Unitaire, i.e., une augmentation de la variable X_i conduit à une augmentation du rapport R_F donc à une augmentation plus importante du flux exporté par le réseau RS que par le réseau EU) : Le volume de MES lessivé par la pluie, le flux de MES provenant des eaux usées ou des eaux claires parasites (proportionnel à la population, à la concentration des ECP ou des EU), le coefficient de fuite du réseau RU vers RS pour le réseau séparatif, la capacité de traitement de la STEP, ...
- Influence négative (en faveur du Réseau Séparatif) : l'intensité de la pluie (proportionnelle à la hauteur de pluie et inversement proportionnelle à la durée de temps de pluie), le volume de sédiments remobilisables en temps de pluie dans le réseau séparatif ou mobilisé en temps sec par chasse dans le réseau EU, le rendement épuratoire de la STEP....



⊙ Question 6. Détermination du rapport R_F pour des configurations très différentes » :

Le rapport R_F a été évalué pour différentes configurations plausibles dérivées de la configuration initiale X_0 en modifiant successivement la valeur d'une des variables X_i . La valeur minimum puis la valeur maximum appliquée successivement à chacune des variables X_i sont données ci dessous :

	VMES	Hp	Dtp	Np	P	IMP	CEU	CECP	b	a	α	VSED	r
X_0	1000	1100	300	200	120	50	300	50	2	0	0.05	300	80
X_{min}	100	200	100	200	20	20	100	10	1	0	0	0	0
X_{max}	3000	2200	1000	200	500	80	900	200	3	2	0.1	600	100



⊙ **Question 7. Commentaires :**

Toutes choses étant égales par ailleurs, et relativement à la configuration initiale X0, différentes variables peuvent faire basculer, suivant leur valeur, l'intérêt d'un RS pour un RU : le réseau RU est plus intéressant que le réseau RS et inversement lorsque la hauteur de pluie annuelle est faible ou que la durée de temps de pluie est importante (= intensité des précipitations faibles et déversements d'orages peu importants) ; lorsque la population est dense, que les EU ou que les EP sont fortement pollués ; lorsque le volume des MES sédimenté dans le RU et remobilisé en temps de pluie est faible....

⊙ **Remarque**

Les nombreuses hypothèses nécessaires à une résolution simple du problème conduisent nécessairement à des résultats imprécis. Les résultats montrent néanmoins que l'intérêt d'un RS n'est pas systématiquement acquis et peuvent suggérer des mesures ou ouvrages simples permettant de mieux gérer les flux de pollution dus aux eaux de ruissellement déversés dans le MR : p.e., un lessivage préventif des surfaces urbaines polluées avant le lessivage brutal opéré par les pluies dans le cas où celles-ci sont intenses, une chasse préventive des MES sédimentés dans le RU, des ouvrages de traitement des eaux de ruissellement sur un réseau séparatif, ou de rétention des eaux de pluie sur les RU....