

## Exercice n° HA 0110 - Corrigé

### Séparation des écoulements par traçage environnemental - Application au sous-bassin versant de la Corbassière (VD, Suisse)

---

#### Données de l'exercice :

L'exercice porte sur les mesures faites lors de l'événement du 7/8/9 juillet 1996 dans la partie forestière du bassin de la Haute-Mentue, plus particulièrement à l'exutoire du sous-bassin de la Corbassière de 185 ha :

- Les teneurs de la nappe, de la pluie arrivant au sol et de l'eau du sol sont données dans le tableau 1 - énoncé.
- Les débits et les teneurs en oxygène 18, Silice et Calcium de l'événement du 7/8/9 juillet 1996 se trouvent dans le Tableau 2 - énoncé.

Le fichier Excel « HA0110\_enonce.xls » contient les données de cet événement. Le corrigé se trouve également dans un fichier Excel « HA0110\_corrige.xls »

#### Question 1. Séparation des écoulements en deux composantes par la méthode graphique

##### ☉ Méthode à appliquer : Séparation des écoulements par la méthode graphique

Il s'agit d'identifier le tarissement sur un hydrogramme et le débit de base en procédant à la séparation des écoulements. Cette technique se base sur une représentation logarithmique de la décroissance du débit en fonction du temps. Une telle représentation est censée mettre en évidence les cassures de la courbe de décrue et par conséquent les différents types d'écoulement.

##### ☉ Démarche et résultats :

**Étape 1 :** Identification de la date de début de ruissellement à partir de l'hydrogramme de crue (augmentation brutale au début de l'évènement)

**Début de l'écoulement rapide**      1996.07.07 à 16:00:00

**Étape 2 :** Identification de la date de fin de ruissellement par la méthode graphique (Figure 1).

- Représentation logarithmique de la décroissance du débit en fonction du temps.
- Mise en évidence des cassures de la courbe de décrue et par conséquent des différents types d'écoulement (ajustement à l'œil de droites). Le point d'intersection entre la droite de tarissement et la droite « précédente » est le point de fin du ruissellement de surface.

**Fin de l'écoulement retardé**      1996.07.09 à 01:00:00

**Étape 3 :** Séparation de l'écoulement de surface et de l'écoulement de base par la méthode de « la ligne droite » *Straight line method*. (Figure 1) : tracer la droite entre les dates de début et de fin de ruissellement

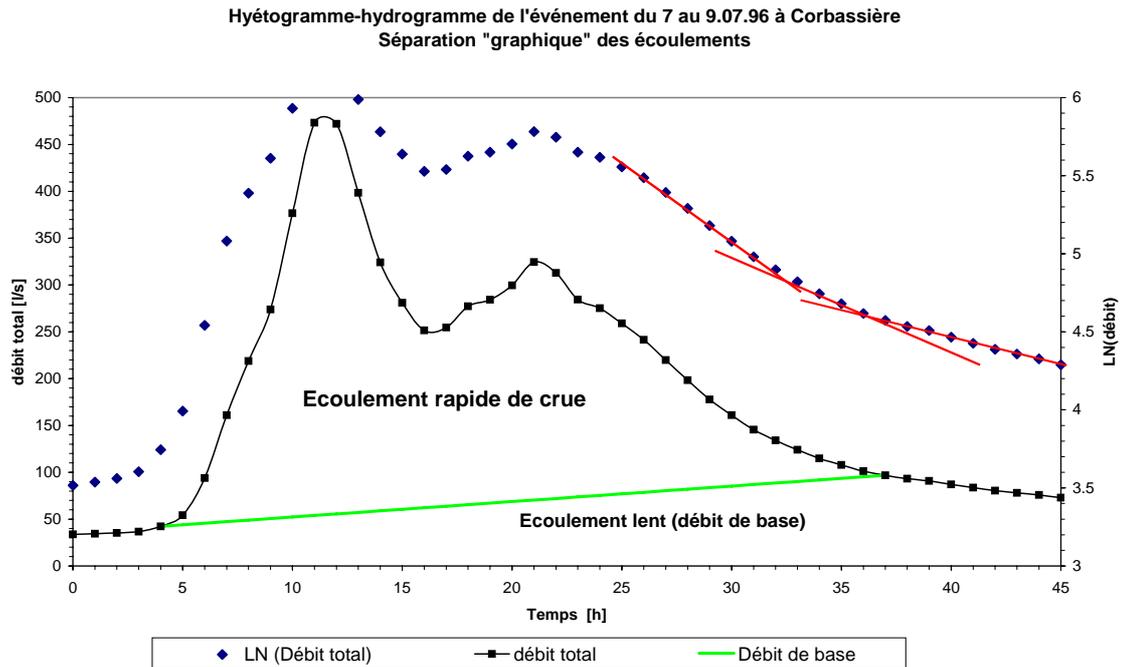


Figure 1. Séparation des écoulements par la méthode graphique pour la crue du 7/8/9 septembre 1996 sur le sous-bassin versant de la Corbassière

⊙ Attention !

La technique de séparation des écoulements faisant appel au jugement de l'opérateur/opératrice d'autres solutions sont possibles.

**Question 2. Séparation des écoulements en deux composantes.**

⊙ Rappel : Principe du traçage environnemental

Le principe du traçage environnemental est relativement simple. Afin de mettre en évidence le comportement et l'influence de différents compartiments du système hydrologique, il faut trouver un ou plusieurs éléments chimiques dont les concentrations sont différentes dans chacun de ces compartiments. Il suffit alors de suivre au cours du temps les concentrations des traceurs à un point donné, par exemple à l'exutoire du bassin versant, pour déduire la contribution de chacun d'eux. En effet, si aucun autre compartiment ne contribue à l'écoulement et que le traceur est conservatif, en appliquant le principe de conservativité de masse au traceur, il est possible d'estimer la contribution de chacune des composantes. Un traceur est conservatif si sa quantité est seulement dépendante des entrées et des sorties du système hydrologique. Par contre, si la quantité dépend également de réactions avec le milieu étudié, le traceur est dit réactif. Tout cela pour dire que la propriété de conservativité du traceur ainsi que la différence de concentration entre les compartiments hydrologiques sont deux conditions primordiales à une bonne application du traçage environnemental.

⊙ Méthode à appliquer : modèle mathématique de mélange à deux composantes

Les deux composantes à identifier sont l'eau « ancienne » (i.e. présente dans le bassin versant avant le début de l'épisode pluvieux) et l'eau « nouvelle » qui provient des précipitations.

Le modèle mathématique de mélange consiste à exprimer la conservation du débit à l'exutoire du bassin (équation 1), ainsi que de la masse du traceur observé pour effectuer cette séparation (équation 2).

$$Q_t = Q_a + Q_n$$

(1)

$$\delta_t \cdot Q_t = \delta_a \cdot Q_a + \delta_n \cdot Q_n$$

(2)

$Q_t$  : débit total mesuré à l'exutoire, en [l/s]

$Q_a$  : débit de l'eau « ancienne », en [l/s]

$Q_n$  : débit de l'eau « nouvelle », en [l/s]

$\delta_t$  : concentration du traceur dans l'écoulement total à l'exutoire

$\delta_a$  : concentration du traceur dans l'eau « ancienne »

$\delta_n$  : concentration du traceur dans l'eau « nouvelle »

La résolution de ce système est immédiate et l'on obtient :

$$Q_a = Q_t \cdot \frac{\delta_t - \delta_n}{\delta_a - \delta_n} \quad (3)$$

$$Q_n = Q_t - Q_a \quad (4)$$

On peut ainsi calculer pour chaque pas de temps le débit généré par l'eau « ancienne » ; le débit de crue (eau « nouvelle ») peut en être déduit par soustraction du débit total. Comme on ne dispose pas de mesures pour chaque heure, on procède à une interpolation linéaire des débits et de la concentration du traceur observé entre les mesures à défaut d'autres informations.

Cette technique peut être appliquée indifféremment à l'un des trois traceurs environnementaux : les résultats sont alors légèrement différents ce qui est dû notamment à la variabilité d'un événement à l'autre de la concentration en traceur, alors que l'on a retenu ici une valeur moyenne.

### ⊙ Résultats :

Les résultats de la séparation des écoulements avec l'oxygène 18 sont présentés dans la figure 1. Les valeurs numériques sont regroupées dans le tableau 1. On peut remarquer que la composante « eau nouvelle » est très faible sur cette crue.

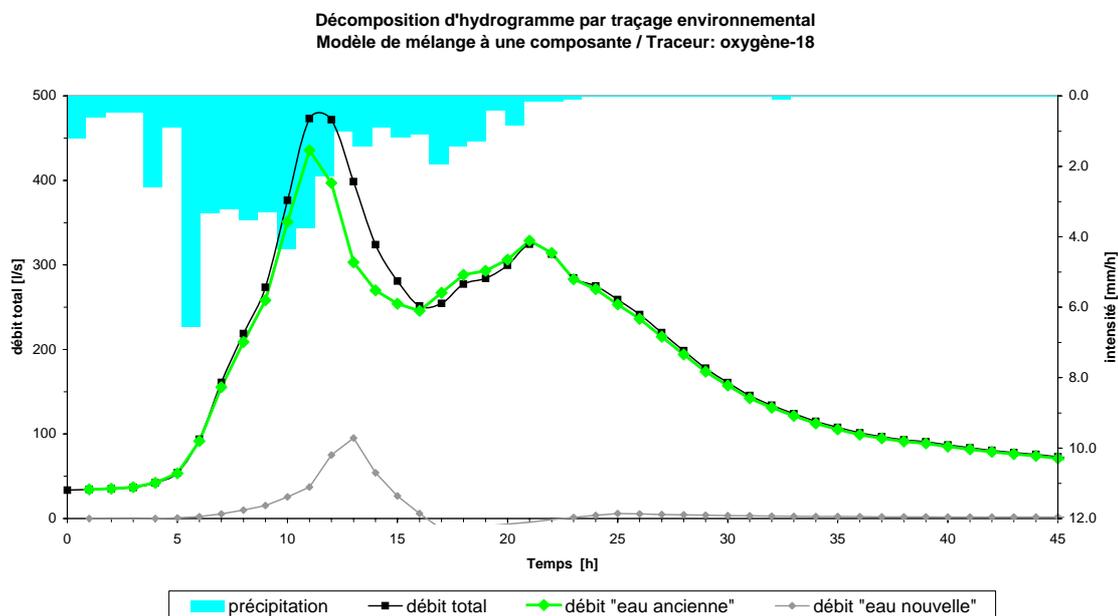


Figure 1 : Séparation par traceur environnemental (oxygène-18) des écoulements pour la crue du 7/8/9 septembre 1996 pour le sous-bassin versant de la Corbassière

### Question 3. Séparation des écoulements en 3 composantes.

⊙ Méthode à appliquer : modèle mathématique de mélange à trois composantes

Cette séparation se base sur le même principe que celle à deux composantes, mais il faut définir une 3<sup>ème</sup> relation ainsi qu'introduire le 2<sup>ème</sup> traceur dans ces relations comme le montre l'équation (5) :

$$\delta_i^j \cdot Q_t = \sum_{i=1}^n \delta_i^j \cdot Q_i \quad (5) \quad \text{avec :} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_t : \text{débit total mesuré à l'exutoire, en [l/s]} \\ Q_i : \text{débit de la composante } i, \text{ en [l/s]} \\ \delta_i^j : \text{concentration du traceur } j \text{ dans l'écoulement total à l'exutoire} \\ \delta_i^j : \text{concentration du traceur } j \text{ dans l'écoulement de la composante } i \end{array} \right.$$

⊙ Résultats :

Les résultats de la séparation des écoulements avec la silice et le calcium sont présentés dans la figure 2. Les valeurs numériques sont regroupées dans le tableau 1. Cette décomposition à 3 composantes confirme le rôle prépondérant des écoulements souterrains lors de cette crue.

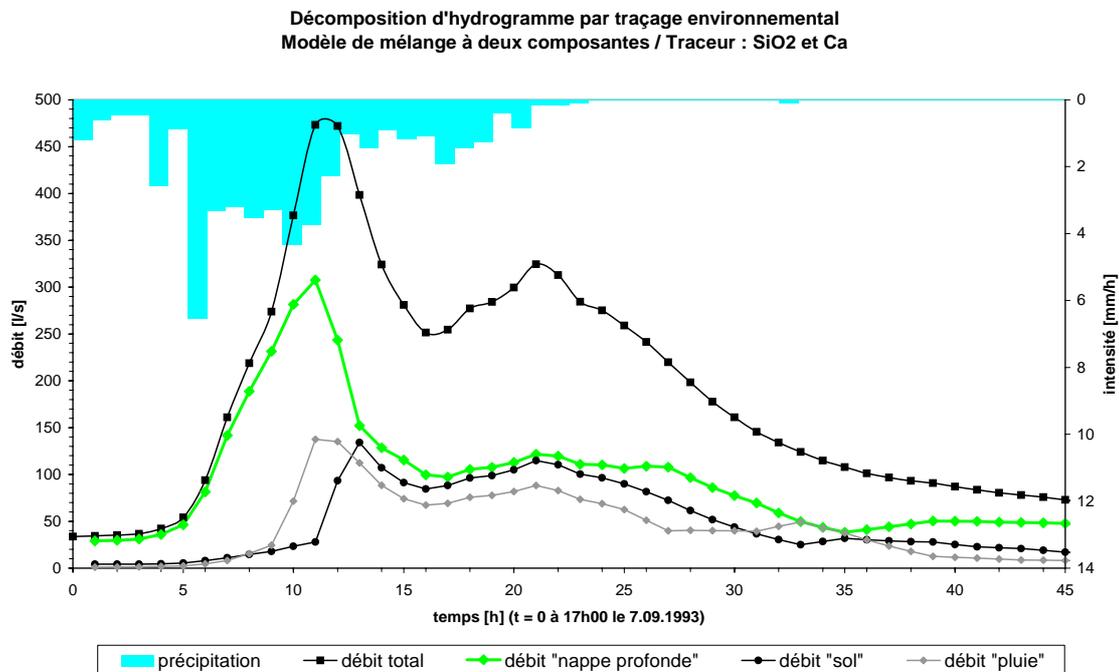


Figure 2 : Séparation par traceur environnemental (Silice et Calcium) des écoulements pour la crue du 7/8/9 septembre 1996 pour le sous-bassin versant de la Corbassière

Tableau 1 : Séparation des écoulements en deux (oxygène-18) et trois composantes (silice et calcium) pour la crue du 7/8/9 septembre 1996 sur le sous-bassin versant de la Corbassière

| Date & heure | 2 composantes        |                                 |                                 | 3 composantes            |                               |                          |
|--------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|              | Débit total<br>[l/s] | Débit « eau ancienne »<br>[l/s] | Débit « eau nouvelle »<br>[l/s] | Débit « nappe »<br>[l/s] | Débit « eau du sol »<br>[l/s] | Débit « pluie »<br>[l/s] |
| 0            | 33.63                |                                 |                                 |                          |                               |                          |
| 1            | 34.38                | 34.38                           | 0.00                            | 1.06                     | 4.22                          | 29.09                    |
| 2            | 35.19                | 35.37                           | -0.18                           | 1.26                     | 4.17                          | 29.76                    |
| 3            | 36.71                | 37.09                           | -0.38                           | 1.49                     | 4.19                          | 31.03                    |
| 4            | 42.29                | 42.25                           | 0.03                            | 1.82                     | 4.54                          | 35.93                    |
| 5            | 54.18                | 53.53                           | 0.65                            | 2.46                     | 5.45                          | 46.27                    |
| 6            | 93.78                | 91.61                           | 2.17                            | 4.54                     | 7.92                          | 81.32                    |
| 7            | 160.98               | 155.47                          | 5.51                            | 8.30                     | 10.99                         | 141.69                   |
| 8            | 218.77               | 208.84                          | 9.93                            | 15.44                    | 14.56                         | 188.78                   |
| 9            | 273.67               | 258.20                          | 15.47                           | 24.52                    | 17.74                         | 231.42                   |
| 10           | 376.51               | 351.02                          | 25.48                           | 71.59                    | 23.31                         | 281.61                   |
| 11           | 473.05               | 435.76                          | 37.29                           | 137.51                   | 27.92                         | 307.62                   |
| 12           | 471.91               | 396.87                          | 75.05                           | 135.11                   | 93.29                         | 243.51                   |
| 13           | 398.38               | 303.08                          | 95.30                           | 112.31                   | 134.00                        | 152.07                   |
| 14           | 324.12               | 269.94                          | 54.19                           | 88.45                    | 107.19                        | 128.48                   |
| 15           | 280.94               | 254.21                          | 26.73                           | 74.13                    | 91.32                         | 115.49                   |
| 16           | 251.55               | 245.73                          | 5.81                            | 67.38                    | 84.48                         | 99.69                    |
| 17           | 254.55               | 267.01                          | -12.46                          | 69.20                    | 88.24                         | 97.11                    |
| 18           | 277.22               | 288.32                          | -11.10                          | 75.63                    | 96.20                         | 105.40                   |
| 19           | 284.27               | 293.11                          | -8.85                           | 77.81                    | 98.75                         | 107.70                   |
| 20           | 299.67               | 306.33                          | -6.66                           | 81.69                    | 105.06                        | 112.92                   |
| 21           | 324.50               | 328.82                          | -4.32                           | 88.10                    | 114.80                        | 121.60                   |
| 22           | 312.87               | 314.25                          | -1.38                           | 82.76                    | 110.52                        | 119.59                   |
| 23           | 284.41               | 283.13                          | 1.28                            | 73.25                    | 100.31                        | 110.84                   |
| 24           | 275.16               | 271.48                          | 3.68                            | 68.64                    | 96.35                         | 110.17                   |
| 25           | 259.00               | 253.22                          | 5.77                            | 62.51                    | 90.03                         | 106.45                   |
| 26           | 241.44               | 236.09                          | 5.36                            | 51.03                    | 81.65                         | 108.76                   |
| 27           | 219.94               | 215.08                          | 4.86                            | 39.89                    | 72.30                         | 107.75                   |
| 28           | 198.45               | 194.09                          | 4.36                            | 40.37                    | 61.46                         | 96.61                    |
| 29           | 177.69               | 173.80                          | 3.89                            | 40.07                    | 51.66                         | 85.96                    |
| 30           | 160.83               | 157.32                          | 3.50                            | 39.82                    | 43.70                         | 77.30                    |
| 31           | 145.45               | 142.30                          | 3.15                            | 39.22                    | 36.76                         | 69.46                    |
| 32           | 133.99               | 131.09                          | 2.89                            | 44.71                    | 30.41                         | 58.86                    |
| 33           | 124.02               | 121.35                          | 2.66                            | 49.33                    | 24.95                         | 49.74                    |
| 34           | 114.84               | 112.38                          | 2.45                            | 42.90                    | 28.50                         | 43.43                    |
| 35           | 107.78               | 105.49                          | 2.29                            | 37.66                    | 31.82                         | 38.30                    |
| 36           | 101.27               | 99.13                           | 2.14                            | 30.06                    | 30.17                         | 41.04                    |
| 37           | 96.84                | 94.80                           | 2.04                            | 23.66                    | 29.11                         | 44.06                    |
| 38           | 93.11                | 91.16                           | 1.95                            | 17.86                    | 28.25                         | 47.01                    |
| 39           | 90.72                | 88.83                           | 1.89                            | 12.63                    | 27.77                         | 50.32                    |
| 40           | 86.97                | 85.17                           | 1.81                            | 11.63                    | 25.24                         | 50.10                    |
| 41           | 83.59                | 81.86                           | 1.73                            | 10.71                    | 22.94                         | 49.94                    |
| 42           | 80.44                | 78.71                           | 1.73                            | 9.55                     | 21.80                         | 49.09                    |
| 43           | 78.02                | 76.28                           | 1.74                            | 8.52                     | 20.88                         | 48.62                    |
| 44           | 75.70                | 73.95                           | 1.75                            | 8.41                     | 18.94                         | 48.35                    |
| 45           | 72.85                | 71.11                           | 1.74                            | 8.22                     | 16.97                         | 47.66                    |
| 46           | 70.67                | 68.92                           | 1.75                            | 7.90                     | 16.49                         | 46.28                    |
| 47           | 68.64                | 66.89                           | 1.75                            | 7.60                     | 16.05                         | 45.00                    |
| 48           | 65.63                | 63.90                           | 1.73                            | 7.20                     | 14.83                         | 43.60                    |
| 49           | 62.81                | 61.11                           | 1.71                            | 6.83                     | 13.69                         | 42.30                    |
| 50           | 59.66                | 57.99                           | 1.67                            | 6.53                     | 12.28                         | 40.85                    |
| 51           | 57.80                | 56.14                           | 1.67                            | 6.38                     | 11.19                         | 40.24                    |
| 52           | 54.77                |                                 |                                 | 5.59                     | 10.80                         | 38.38                    |
| 53           | 52.84                |                                 |                                 | 4.96                     | 10.61                         | 37.27                    |