

## Introduction

Le débit de base est une Composante de l'écoulement provenant de la vidange des réserves du bassin, souterraines ou superficielles (barrages, lacs artificiels)

Il existe classiquement deux usages de ce terme :

- Le débit de base est assimilable à l'écoulement qui se produit dans un cours d'eau pendant les périodes sans précipitations, c'est donc l'eau qui vient du tarissement des nappes, La plupart des écoulements d'été, en régions tempérées, sont assimilables au débit de base, (Glossaire International d'Hydrologie,1992).
- Par ailleurs, lors d'un épisode de crue l'*écoulement de base* a été classiquement défini comme l'écoulement qui se serait produit en l'absence de précipitation. En effet, dans la conception ancienne de l'hydrologie, l'intumescence de l'hydrogramme était exclusivement attribuée au ruissellement. L'écoulement de crue était alors considéré comme résultant de la somme de l'écoulement de base, correspondant à la vidange simple de la nappe, et du ruissellement,

Mais les travaux récents, utilisant la composition chimique ou isotopique des eaux, ont montré que la part des eaux souterraines dans l'écoulement de crue était beaucoup plus importante qu'on ne le pensait auparavant, et constituait souvent l'essentiel du débit de crue ; dans ce cas, s'il s'agit bien d'écoulement souterrain, il ne s'agit plus d'écoulement non influencé,

- Le terme d'écoulement de base sera réservé à l'écoulement résultant du tarissement des réserves en l'absence d'influence, et celui d' "écoulement souterrain " à l'écoulement provenant d'aquifères ou transitant par eux lors des épisodes de crues.
- Le *débit de base* se réfère à l'analyse des variations dans le *temps* des composantes de l'écoulement total d'un cours d'eau, *l'écoulement souterrain* se réfère à l'analyse dans l'*espace* des milieux parcourus par l'eau.

Le débit de base est souvent déterminé à l'aide d'un processus graphique ou mathématique connu sous le nom de séparation du débit de base. Ce processus fait appel à l'information de surveillance du débit comme entrant et divise le débit observé en composants variant rapidement et lentement, ruissellement de surface et débit de base, respectivement. Les données de débit moyen journalier qui sont utilisées dans ces analyses sont recueillies à la grandeur des deux bassins versants à l'aide de réseaux de débitmètres, la figure 55 montre la répartition des stations hydrométriques sur la région d'étude.

Différentes mesures sont utilisées pour l'application de la séparation du débit de base aux valeurs de débit moyen journalier ; par exemple, l'indice de l'écoulement de base (IEB) est une mesure simple et physique de la contribution du débit de base au débit total dont l'usage est approprié par les études à l'échelle régionale. L'indice de l'écoulement de base est défini comme le taux moyen de débit de base comparativement au taux du débit total et varie de 0 à 1 (PIGGOTT A., 2005).

Code station :160801 Nom station :PIERRE DE CHAT

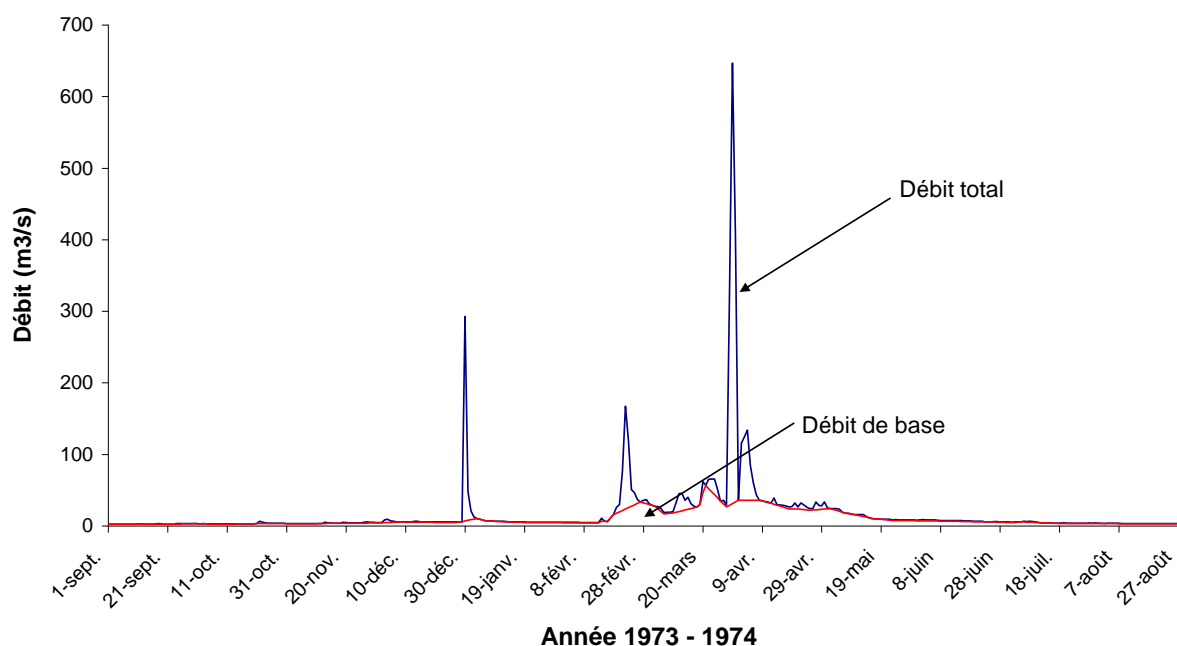


Figure 1 : séparation de débit de base et de débit total dans l'hydrogramme annuel

L'IEB permet en effet de paramétrer l'influence des conditions géologiques d'un bassin sur l'écoulement de base. Il s'agit bien d'un indice qui ne prétend pas quantifier avec exactitude la vidange des nappes souterraines, telle qu'elle pourrait l'être avec des méthodes géochimiques ou isotopiques car il y a autres facteurs qui entrent en jeu par exemple la régularisation des débits, le prélèvement direct, les rejets des eaux usées dans les cours d'eau. L'intérêt de cet indice réside surtout dans son caractère automatisable et contrôlable (programme d'informatique), tout en étant capable de traiter très rapidement de longues séries de données. L'indice permet également l'établissement d'un modèle, en le liant à des caractéristiques morphologiques et lithologiques des bassins versants.

## V.1. Description de la méthode UKIH

Cette approche appliquée pour l'évaluation du débit de base en utilisant la méthode à l'origine proposée par l'institut d'hydrologie de Royaume-Uni (UKIH), maintenant le centre d'hydrologie et d'écologie de Wallingford (institut d'Hydrology, 1980). Les auteurs ont appliqué cette méthode pour la surveillance de débit d'écoulement pour la région de grands lacs en même temps que des études s'étendant de la réduction de dégâts des eaux. Elle a été utilisée pour déterminer les interactions du climat avec les eaux souterraines (Piggott et al., 2005).

La méthode d'UKIH est basée sur l'identification et l'interpolation des points de changement dans une série chronologique de mesure (Débit moyen journalier). Les points de changement indiquent les jours et les valeurs correspondantes du débit total où on suppose que l'écoulement observé est entièrement un débit de base. Pour calculer ces points, les débits de l'écoulement total sont divisés dans un ordre des segments de 5 jours et le minimum du

débit dans chaque segment, cette valeur correspond au jour, où la valeur minimum de l'écoulement s'est produite, ces points sont choisis et définis comme point de retour. Chaque valeur minimale est alors comparée aux minimums pour les segments précédents et suivants. Les points de retours sont déterminés à partir de la condition suivante :

$$f.y_i < \min (y_{i-1} ; y_{i+1}) \quad (13)$$

Où  $y_i$  est la valeur minimale du débit moyen journalier dans un segment de 5 jours qui correspond au jour  $i$ .

Ce processus a comme conséquence un ordre irrégulier des points de retours. La variation temporelle du débit de base est estimée par l'interpolation par morceaux linéaire encadrée par des paires successives de point de retour. Une série chronologique journalière de débit de base peut être calculée en appliquant cette interpolation à la synchronisation des données principales de débit total et des volumes totaux de débit de base pouvant être calculés par l'intégration de l'interpolation.

Les méthodes de calcul du débit de base rapportées dans la littérature exigent le secteur de drainage comme variable (entrée). Dans ces cas, le nombre de jours où le débit total est comparé, des cinq jours fixes dans le cas de la méthode d'UKIH, est en fonction du secteur ou l'aire du bassin drainé. Cette fonction est typiquement du type «  $A^{0.2}$  » où  $A$  est le secteur de drainage en kilomètres carrés (Petty John & Henning, 1979 ; Sloto & Crouse, 1996).

Piggott a identifié un aspect de la méthode d'UKIH qui mène aux résultats moins qu'optimaux. Cet aspect est le calcul des valeurs du débit de base qui dépassent les valeurs correspondantes au débit observé. Ce dernier est un résultat intuitivement incorrect. Ces résultats se produisent principalement à proximité des augmentations brusques du débit d'écoulement.

La méthode UKIH règle cet aspect en contraignant les valeurs calculées du débit de base. Très simplement, si la valeur du débit de base déterminée, après l'interpolation, est plus grande que l'écoulement observé correspondant, alors la valeur observée est employée au lieu de la valeur interpolée.

## **Description de la nouvelle application**

Vu la facilité de manipulation du logiciel Microsoft Office Excel, il a été utilisé comme plateforme des fonctions, outils de génération de graphiques, des outils d'analyse croisée dynamique et un module de programmation par macro ou en développement direct avec le langage Visual Basic pour Application (VBA). Il permet aussi de tracer automatiquement des graphiques de visualisation des données chiffrées.

Un classeur Excel nommé BFI composé de six feuilles de calcul :

- Feuille « Données », pour l'acquisition des données brutes avec une simple opération Copie/Coller.

- Feuille « SEGMENTATION », pour la segmentation d'une colonne de données par classe de N valeurs.
- Feuille « CALCUL », dans cette feuille on peut calculer le débit de base et l'IEB grâce à un bouton « CALCULER » en fixant la valeur de N souhaitée (figure n° 27).
- Feuille « DETERMINATION DE N », les procédures de calcul faites sur la feuille « CALCUL » sont refaites automatiquement en cliquant sur le bouton « CALCUL AUTOMATIQUE » pour N=2 à N=10 les résultats sont visualisés dans un graphe IEB en fonction de N.
- Feuille « HYDROGRAMME », pour la visualisation l'hydrogramme de débit total et de débit de base.
- Feuille « RESULTAT » : les valeurs de l'IEB annuelles, saisonnières et mensuelles sont regroupées dans un tableau et à l'aide des listes déroulantes, on peut sélectionner le début et la fin d'une période dans un cycle annuel pour le visualiser directement sur un graphique.

## Manipulations

Tous les fichiers originaux ont d'abord été validés et leur contenu segmenté afin d'obtenir un format d'une seule ligne par jour. En cliquant sur le bouton « coller » représenté sur la figure 58, Les données ont ensuite été compilées dans une base de données (sur la feuille « Données » du classeur BFI).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1972												
2	1	0,02	0,05	0,11	0,25	0,38	0,32	0,48	1,33	0,68	0,23	0,10	0,06
3	2	0,02	0,05	0,11	0,19	0,44	0,44	0,45	1,13	0,58	0,23	0,11	0,08
4	3	0,01	0,03	0,11	0,22	0,32	0,42	0,44	1,03	0,56	0,19	0,10	0,08
5	4	0,02	0,03	0,13	0,33	0,32	0,37	0,42	0,98	0,56	0,15	0,11	0,06
6	5	0,03	0,03	0,13	0,15	0,30	0,37	0,42	0,94	0,53	0,19	0,10	0,06
7	6	0,02	0,02	0,13	0,13	0,30	0,37	0,42	0,94	0,48	0,15	0,08	0,05
8	7	0,01	0,03	0,11	0,13	2,68	0,42	0,42	0,74	0,37	0,23	0,08	0,06
9	8	0,02	0,39	0,11	0,11	3,65	0,42	0,42	0,71	0,42	0,15	0,10	0,08
10	9	0,05	0,13	0,11	0,11	1,45	0,44	0,37	0,71	0,32	0,19	0,05	0,08
11	10	0,02	0,11	0,11	0,11	0,78	0,42	0,37	0,71	0,25	0,17	0,10	0,05
12	11	0,02	0,11	0,11	0,15	0,50	0,42	0,37	0,85	0,25	0,13	0,08	0,06
13	12	0,02	0,10	0,10	0,15	0,32	0,42	0,54	0,62	0,27	0,11	0,10	0,06
14	13	0,03	0,10	0,10	0,13	0,42	0,37	0,50	0,95	0,25	0,10	0,08	0,06
15	14	0,01	0,10	0,10	0,15	0,42	0,53	0,45	0,56	0,21	0,13	0,10	0,08
16	15	0,01	0,10	0,10	0,17	0,44	2,17	0,44	0,51	0,23	0,19	0,08	0,05
17	16	0,02	0,08	0,10	0,17	0,44	1,04	0,42	0,51	0,25	0,15	0,11	0,05
18	17	0,02	0,08	0,10	0,13	0,45	0,77	0,42	0,73	0,25	0,15	0,11	0,05
19	18	0,01	0,08	0,10	0,11	0,42	0,52	0,42	0,65	0,30	0,10	0,08	0,05
20	19	0,02	0,10	0,10	0,10	0,42	0,52	0,42	0,53	0,25	0,10	0,08	0,05
21	20	0,02	0,21	0,10	0,10	0,42	0,80	0,42	0,47	0,25	0,13	0,10	0,05
22	21	0,02	0,21	0,10	0,10	0,37	0,87	0,42	0,44	0,23	0,19	0,10	0,03
23	22	0,02	0,13	0,10	0,10	0,37	0,63	0,37	0,97	0,19	0,13	0,05	0,05
24	23	0,01	0,13	0,10	0,10	0,32	0,55	2,02	2,47	0,19	0,11	0,05	0,05
25	24	0,06	0,13	0,10	0,10	0,32	0,56	1,27	1,43	0,15	0,11	0,08	0,05
26	25	0,02	0,13	0,10	0,10	0,32	0,58	0,71	1,10	0,13	0,10	0,06	0,03
27	26	0,05	0,13	0,10	0,10	0,32	0,56	0,56	0,98	0,11	0,10	0,06	0,03
28	27	7,58	0,13	0,10	0,10	0,32	0,53	0,47	0,84	0,11	0,10	0,08	0,02
29	28	0,13	0,13	0,10	0,10	0,32	0,51	10,77	0,81	0,15	0,10	0,05	0,02
30	29	0,06	0,11	0,11	0,10	0,32	0,45	0,74	0,74	0,13	0,08	0,05	0,03
31	30	0,06	0,11	0,44	0,52	0,32	5,13	0,68	0,23	0,11	0,06	0,02	0,02
32	31	0,11	0,11	0,96	0,32	0,32	2,20	0,23	0,23	0,06	0,06	0,13	0,13
33													
34													
35		Qm³						Code station	11123	Nom station	SIDI BOUBEKEUR	11123 - SIDI BOUBEKEUR	
36		0,022						Année	1972	Hydrolité	humide		
37		0,015											
38		0,008											
39		0,015											
40		0,034											
41		0,015							01971	FERME FARHAT	1971	humide	
42		0,009							01120	SIDI BOUABDALLAI	1972	seche	
43		0,022							01702	ARB CHLIF	1973		
44		0,046							01801	ARB EEDA	1974		
45		0,022							01805	BIR OULED TAHAR	1975		
46		0,015							01204	TINEZAL	1976		
47		0,015							01201	OULED FARES	1977		
48		0,034							01203	PONTEBA DEF	1978		
49		0,008							012701	DJEDIDIA FM4	1979		
50		0,010							01301	KEF MAHEOULA	1980		
51		0,022							013302	AIN AMARA	1981		

Figure 2 : Feuille des données de débits journaliers

On détermine le nombre de jour N par le tracé de la courbe IEB en fonction de N pour N=2,...,10. Une Macro est programmée pour calculer automatiquement les valeurs de l'IEB pour les différentes valeurs de N et les structurer dans un tableau d'après lequel on détermine la valeur critique de N où la courbe va être linéaire.

La valeur critique de N est donc le Nombre de jours utilisés pour la segmentation et les calculs (figure 59).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	111129								
2	SDI BOUBEKEUR	Qmj		Qbi		date	Va	Vb	date
3	Année	0,022	0,022	0,022	0,000	01/09/1972	1901	1901	01/09/1972
4	1972	0,015	0,020	0,015	0,000	02/09/1972	1296	1296	02/09/1972
5		0,008	0,017	0,008	0,000	03/09/1972	691	691	03/09/1972
6		0,015	0,015	0,015	0,000	04/09/1972	1296	1261	04/09/1972
7	N =	0,034	0,012	0,012	0,022	05/09/1972	2938	1048	05/09/1972
8	f =	0,015	0,010	0,010	0,005	06/09/1972	1296	635	06/09/1972
9	0,9	0,008	0,007	0,007	0,001	07/09/1972	691	622	07/09/1972
10		0,022	0,007	0,007	0,015	08/09/1972	1901	622	08/09/1972
11		0,046	0,007	0,007	0,039	09/09/1972	3974	622	09/09/1972
12	IEB = 45 %	0,022	0,007	0,007	0,015	10/09/1972	1901	622	10/09/1972
13		0,015	0,007	0,007	0,008	11/09/1972	1296	622	11/09/1972
14		0,034	0,007	0,007	0,027	12/09/1972	1296	622	12/09/1972
15		0,008	0,007	0,007	0,001	13/09/1972	2938	622	13/09/1972
16		0,008	0,007	0,007	0,001	14/09/1972	691	622	14/09/1972
17	CALCULER	0,008	0,007	0,007	0,001	15/09/1972	691	622	15/09/1972
18		0,022	0,007	0,007	0,015	16/09/1972	1901	622	16/09/1972
19	EFFACER	0,022	0,007	0,007	0,015	17/09/1972	1901	622	17/09/1972
20		0,008	0,007	0,007	0,001	18/09/1972	691	622	18/09/1972
21	RESULTAT	0,015	0,007	0,007	0,008	19/09/1972	1296	622	19/09/1972
22		0,015	0,007	0,007	0,008	20/09/1972	1296	622	20/09/1972
23		0,015	0,007	0,007	0,008	21/09/1972	1296	622	21/09/1972
24		0,015	0,007	0,007	0,008	22/09/1972	1296	622	22/09/1972
25		0,008	0,007	0,007	0,001	23/09/1972	691	622	23/09/1972
26		0,062	0,015	0,015	0,047	24/09/1972	5357	1296	24/09/1972
27		0,015	0,023	0,015	0,000	25/09/1972	1296	1296	25/09/1972
28		0,078	0,031	0,031	0,047	26/09/1972	6739	2651	26/09/1972
29		7,577	0,039	0,039	7,539	27/09/1972	654669	3328	27/09/1972
30		0,128	0,046	0,046	0,082	28/09/1972	11095	4004	28/09/1972
31		0,078	0,054	0,054	0,024	29/09/1972	6739	4680	29/09/1972
32		0,062	0,062	0,062	0,000	30/09/1972	5357	5357	30/09/1972
		0,046	0,053	0,046	0,000	01/10/1972	3974	3974	01/10/1972

Figure 3 : Feuille de calcul de l'IEB

Afin de faciliter la requête des données par l'utilisateur, un module d'extraction, représenté sur la figure 60, a été conçu pour être en mesure d'interroger la base de données de manière interactive. Ce module permet à l'utilisateur de bâtir sa requête et de sélectionner une période à l'aide d'une liste « déroulante ». Une fois la requête terminée, les résultats peuvent être exportés en format Excel afin de les représenter graphiquement tels que le débit total, débit de base et les points de changement.

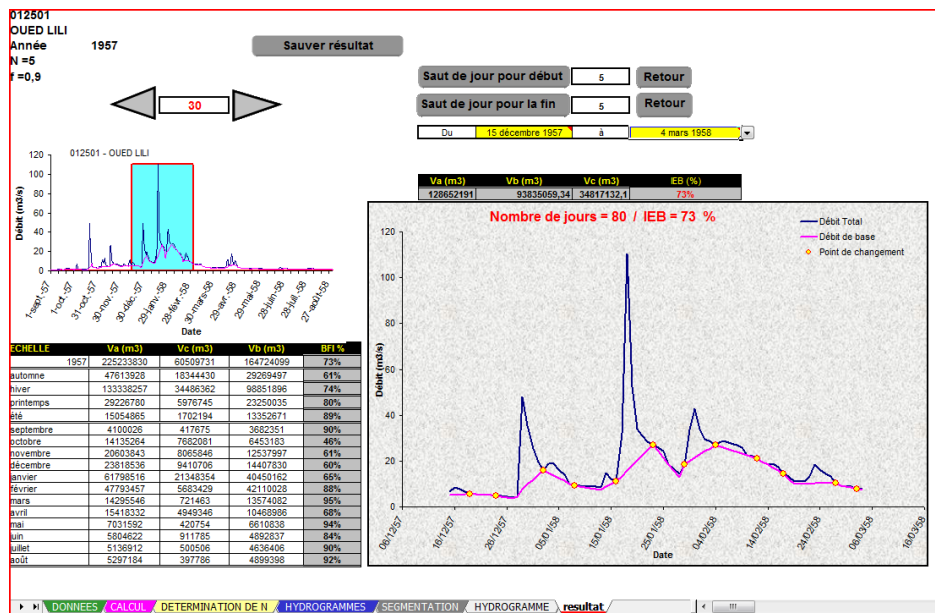


Figure 4 : Feuille de résultats de calcul

La démarche à suivre afin de calculer l'IEB est la suivante (figure 61) :

- On regroupe les débits moyens journaliers en groupes de N jours non chevauchants, ensuite, on calcul le minimum de chaque groupe, en lui donnant le nom ( $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ ).
- Scrutation successive des groupes de valeurs minimums de débits moyens journalier tels que : ( $Q_1, Q_2, Q_3$ ), ( $Q_2, Q_3, Q_4$ ),....., ( $Q_{n-1}, Q_n, Q_{n+1}$ ). Dans chaque segment, si la valeur centrale d'un groupe  $Q_n \cdot PVM$  ( $PVM =$  pourcentage de validité des minima, fixé à 0,9) est inférieure aux valeurs qui les encadrent (bornes), alors la valeur de ce produit constitue le point de changement de la courbe d'écoulement de base (retenue comme étant un point pivot ( $QB_i$ ) pour la courbe du débit de base). On continue cette procédure jusqu'à la fin des classes. On attribue, aux valeurs qui vérifient la condition précédente, les noms  $QB_1, QB_2, \dots, QB_i$ , dont elles ont des intervalles de temps différents.
- On effectue une interpolation linéaire entre les valeurs  $QB_i$  afin d'estimer les valeurs journalières de  $QB_1, QB_2, \dots, QB_n$ .
- Si  $QB_i > Q_i$  alors :  $QB_i$  prend la valeur de  $Q_i$ .
- Calcul du  $V_a$  : volume de l'hydrogramme des débits moyens journaliers  $Q_n$  sur la période étudiée.
- Calcul de  $V_b$  : volume au dessous de la courbe de l'écoulement de base entre le premier et le dernier point de changement d'allure de la courbe sur la période étudiée.
- Calcul de l'indice d'écoulement de base ( $IEB = V_b/V_a$ ).