

**FONCTIONNEMENT ET CLASSIFICATION DES SYSTEMES AQUIFERES
KARSTIQUES DU SYNCLINAL DU DYR-GASTEL – TEBESSA - PAR
APPLICATION DES APPROCHES FONCTIONNELLES
« DEBITS CLASSES ET COURBES DE RECESSION »**

Dr M. L. Hemila*, H. Djebari** et M. Djellali**

* Chargé de cours, Centre Universitaire Cheikh Larbi Tebessi TEBESSA, Algérie.

** Ingénieurs, département sciences de la terre. Centre Universitaire Cheikh Larbi Tebessi
TEBESSA, Algérie.

RESUME

Dans cet article, nous présentons les synthèses d'application des méthodes d'approche fonctionnelle dans le traitement et d'analyse des chroniques des débits à l'exutoire des systèmes aquifères karstiques du synclinal de Dyr – Gastel (Tébessa – Algérie).

L'objectif principal est de comprendre le fonctionnement et le comportement de chaque système.

L'étude descriptive des débits classés de l'écoulement des sources à Ain Erkel et Ain Zerga relatifs à une période de vingt - six (26) cycles hydrologiques (1974/1975-1999/2000) a permis d'identifier le fonctionnement de l'exutoire de chaque aquifère ; aquifère épikarstique éocène et aquifère hoplokarstique maestrichtien.

L'analyse des courbes de récession a permis de caractériser selon le modèle à deux réservoirs (MANGIN A. 1970) [3] :

- d'une part, le fonctionnement de la zone d'infiltration par la détermination du coefficient d'hétérogénéité d'écoulement (ϵ) et le coefficient de vitesse d'infiltration (η) ;
- d'autre part, l'écoulement dans la zone noyée en évaluant le coefficient de tarissement (α).

Le report des valeurs de i et k calculées après analyse des courbes de récession qui représentent les retards à l'infiltration et le rapport entre le volume dynamique maximum obtenu sur la période d'étude et le volume de transit inter-annuel sur la même période, sur le diagramme de classification de Mangin a permis de définir le modèle karstique analogue.

INTRODUCTION

L'hydrogéologie du karst, est une discipline qui ne cesse de révéler ses secrets et nous incite à s'y pencher en y intensifiant les recherches.

Parmi les pays karstiques qui peuvent constituer un intérêt hydrogéologique d'importance capitale, le synclinal de Dyr-Gastel, qui se situe à l'extrême Nord-Est Algérien, plus exactement, à quarante (40) km au Nord- Est de Tébessa et à quinze (15) km des frontières Algéro- Tunisiennes.

Les divers travaux d'étude et d'exploration dans la région, à formations carbonatées, ont permis de déceler deux systèmes aquifères :

- Le premier, constitué par des calcaires fissurés d'âge éocène (Lutétien-Yprésien) du type épikarst formant le massif supérieur de la région, avec comme principal exutoire, la source Ain Erkel ;
- Le second, constitué de calcaires fissurés du Maestrichtien de type holokarst, et ayant comme point d'exurgences la source Ain Zerga.

Les premiers essais d'étude entrepris auparavant dans le cadre de l'identification de l'ensemble du milieu karstique, ont révélé une complexité des mécanismes hydrodynamiques et chimiques de ces deux aquifères. La nature lithologique, la géométrie du réservoir et la variabilité des paramètres hydro climatiques sont les principaux indices de détermination de l'ampleur de cette complexité, qui restait jusqu'ici indéfinie.

Comme problématique donc du sujet, et dans un objectif d'étude du fonctionnement de chaque système aquifère afin d'en tirer des synthèses, sur leurs structures et leurs comportements, nous allons essayer de confirmer que les systèmes aquifères du Dyr sont karstiques, et nous tenterons de faire déceler les principaux points recherchés à savoir :

- La mise en évidence d'impluvium fluctuant aux travers des fuites ou apports éventuels, pouvant se produire entre différents systèmes ;
- Conditions de mise en fonctionnement de trop-plein ;
- Estimation des volumes de transit (volume dynamique) et aboutir à une classification des dits systèmes selon une typologie mondiale.

Pour ce faire, l'application des méthodes de l'approche fonctionnelle est conseillée comme moyen d'étude donc des aquifères karstiques.

I. CARACTERISATION DES SYSTEMES

La phase de caractérisation constitue une étape préliminaire ayant pour objectif principal l'étude du fonctionnement d'un système karstique, pour une fin d'en déduire des conclusions sur sa structure. Elle se base sur différentes méthodes parmi lesquelles celles propres à l'Hydrogéologie du karst, et dont les plus importantes et auxquelles nous nous sommes limités dans ce présent document sont:

- L'analyse des débits classés, pour la compréhension du fonctionnement de l'exutoire ;
- L'analyse des courbes de récession pour l'évaluation du volume dynamique et la classification de systèmes. [1], [2] et [3].

II. ACQUISITION DES DONNEES DE BASE

Comme données de base, les méthodes s'appuient sur le traitement et l'analyse des données d'écoulement et de vidange des aquifères à leurs points exurgences. Nous disposons de données relatives aux écoulements des sources : Ain Erkel et Ain Zerga représentant respectivement les vidanges des systèmes, Eocène et Maestrichtien. Ces données ont été relevées par les services de l'A.N.R.H de Tébessa, sur une période de vingt six (26) cycles hydrologiques (1974/1975 – 1999/2000), avec des lacunes d'observation. Faute de disponibilité de valeurs des débits journaliers, ces dernières ont été alors déduites après établissement des courbes de tarage relatives à chaque cycle, liant bien sûr, les hauteurs journalières de la lame d'eau écoulée (H) et les débits instantanés(Q), jaugés au niveau des dites stations hydrométriques.

2.2 ANALYSE DES DEBITS CLASSES (Identification du fonctionnement de 'exutoire)

2.2.1 PRINCIPE DE LA METHODE

Ce type d'analyse, qui est en principe spécifique à l'hydrologie de surface, pour bien sûr des fins de prévision des régimes des cours d'eau, repose sur un classement et une représentation des débits journaliers sous la forme d'une courbe de distribution des fréquences. Il est pour le cas des aquifères karstiques de type descriptif, dont le but du classement est de comprendre le comportement du système et non de faire des prévisions basées sur des lois probabilistes (fig.1) [1], [2] et [3].

2.2.2 FONCTIONNEMENT DES EXUTOIRES

Le traitement par voie automatique (micro-ordinateur), via l'utilisation du logiciel HYDROLAB, des valeurs de débits d'écoulement, au pas de temps journaliers, observés sur une période de vingt six cycles hydrologiques (1974/1975 – 1999/2000), a permis d'obtenir, pour les deux systèmes, des représentations graphiques qui répondent à un ajustement arithmétique conformément à la loi normale de GAUSS. Un exemple d'ajustement est reporté à la figure 2, ce qui traduit une infiltration lente.

L'analyse descriptive de l'ensemble des courbes de débits classés laisse dire :

- a) Le système aquifère éocène ; se caractérise, comme le montre le tableau 1, par une décroissance dont la représentation graphique est une droite à simple rupture répondant à l'expression $\alpha_2 < \alpha_1$ où les modèles dominants sont celui de type 2 et 4.

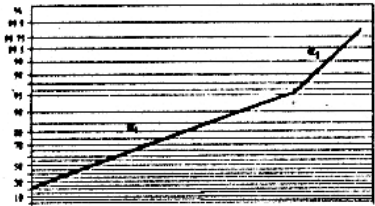
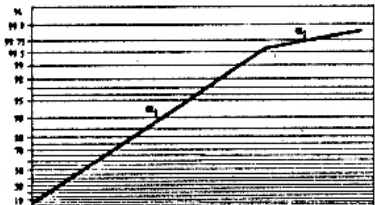
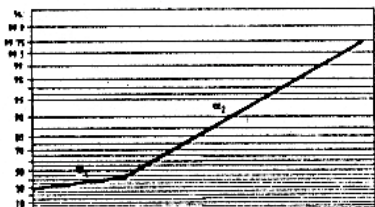
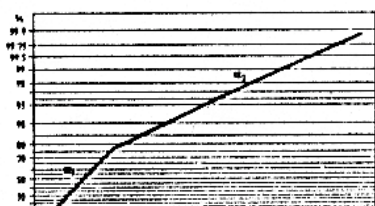
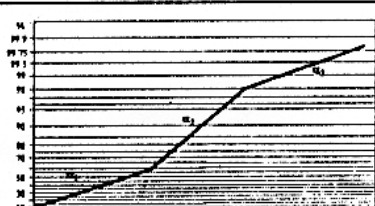
Position de la rupture	Pentes des droites	Interprétation
Forts pourcentages		$\alpha_2 > \alpha_1$ <ul style="list-style-type: none"> • mise en fonctionnement de trop-plein • fuites vers un autre système • stockage momentané • fuites ou débordement de la station de jaugeage en hautes eaux
		$\alpha_2 < \alpha_1$ <ul style="list-style-type: none"> • apports en provenance d'un autre système • jaugeage d'écoulements n'appartenant pas au système
Faibles pourcentages		$\alpha_2 > \alpha_1$ <ul style="list-style-type: none"> • constitution d'une réserve
		$\alpha_2 < \alpha_1$ <ul style="list-style-type: none"> • apports d'une réserve issue d'un cycle antérieur
Double rupture		$\alpha_2 > \alpha_1$ et $\alpha_3 < \alpha_2$ <ul style="list-style-type: none"> • piégeage d'une réserve lors de la décrue et restitution au cours du tarissement

Figure 6 - Différents cas de rupture de pente de la droite représentative des débits classés

Figure 1. Différents cas de rupture de pente de la droite représentative des débits classés

Tableau 1 : Différents cas de rupture de pente de la droite représentative de débits classés
Ain Erkel : 1974/1975 à 1999/2000

Nature de la pente	Expression	Type de modèle	Nombre de cycles	Interprétation hydrogéologique
A simple rupture	$\alpha_2 < \alpha_1$	Type 2	15	- Apport en provenance d'un autre système - Jaugeage d'écoulement n'appartenant pas au système
		Type 4	03	- Apport d'une réserve issue d'un cycle antérieur
	$\alpha_2 > \alpha_1$	Type 3	02	- Constitution d'une réserve

b) Le système aquifère maestrichtien se caractérise, comme le visualise le tableau 2, par des décrues de vidange dont les courbes représentatives sont aussi des droites :

- A simples ruptures, obéissant aux deux expressions : $\alpha_2 > \alpha_1$, $\alpha_2 < \alpha_1$
- A doubles ruptures, conformément à l'expression: $\alpha_2 > \alpha_1$ et $\alpha_3 < \alpha_1$

Tableau 2 : Différents cas de rupture de pente de la droite représentative de débits classés
Ain Zerga :1974/1975 à 1999/2000

Nature de la pente	Expression	Type de modèle	Nombre de cycles	Interprétation hydrogéologique
A simple rupture	$\alpha_2 > \alpha_1$	Type 1	03	- Mise en fonctionnement de trop-plein - Fuites vers un autre système - Stockage momentané - Fuites ou débordement de la station de jaugeage en hautes eaux
		Type3	02	- Constitution des réserves
	$\alpha_2 < \alpha_1$	Type2	05	- Apports en provenance d'un autre système - Jaugeage d'écoulement n'appartenant pas au système
		Type4	05	- Apports d'une réserve issue d'un cycle antérieur
A double rupture	$\alpha_2 > \alpha_1$ et $\alpha_3 < \alpha_1$	Type5	02	- Piégeage d'une réserve lors de la décrue et restitution au cours du tarissement

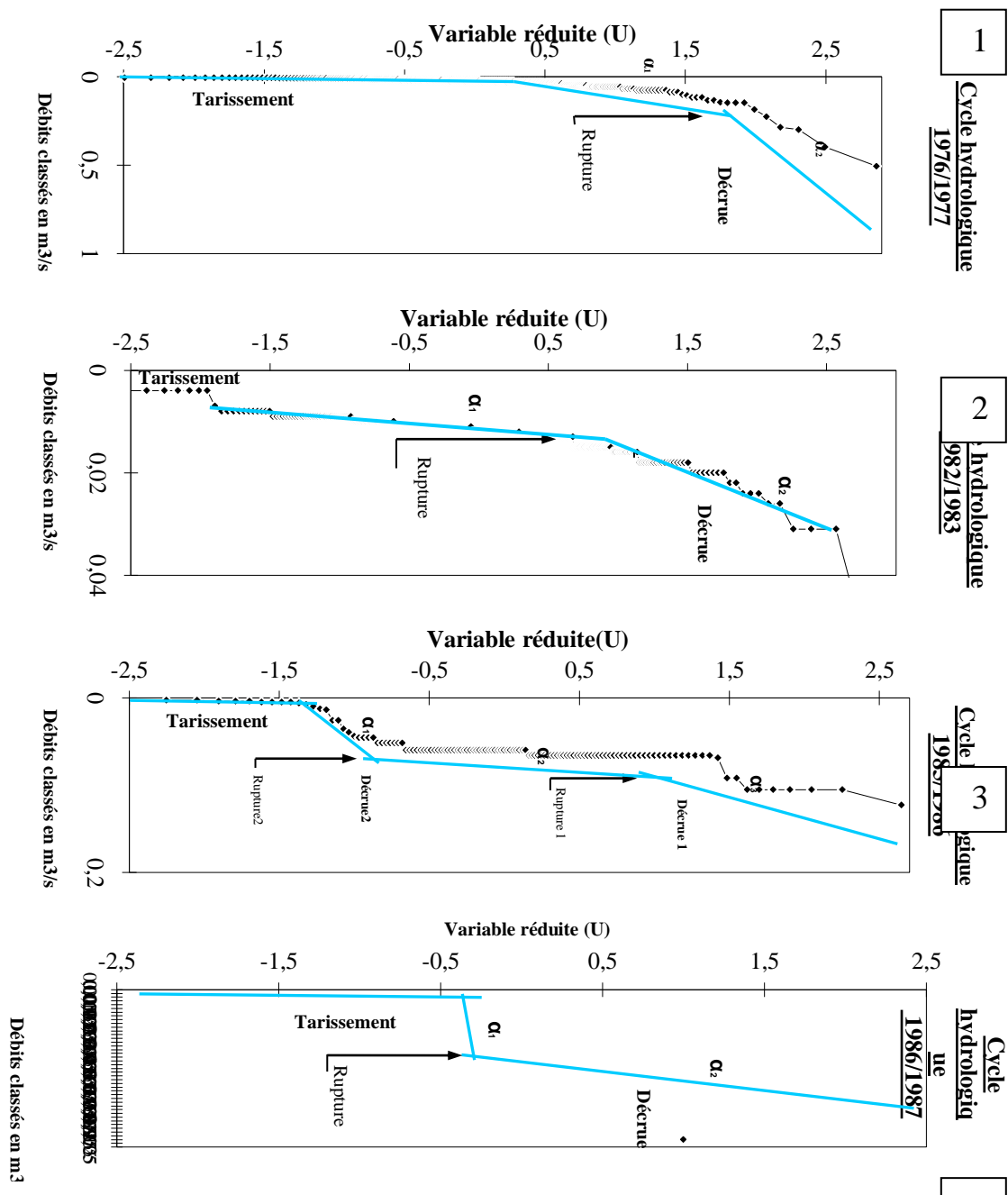


Figure 2. Courbes des débits classés de l'écoulement des sources : Ain Erkel (1 et 2) Zerga (3 et 4)

Selon les modèles de références (MANGIN 1971.[1], [2] et [3] fig.1), le fonctionnement de l'exutoire du système aquifère maestrichtien est très variable dans le temps où on assiste à une intermittence d'apport en provenance d'un autre système, stockage momentané, apport d'une réserve issue d'un cycle antérieur ainsi qu'aux phénomènes de piégeage et les processus de constitution de réserves.

La complexité du fonctionnement de l'exutoire du réservoir du complexe maestrichtien est donc plus palpable par rapport à celui de l'Eocène qui, lui est moins inextricable.

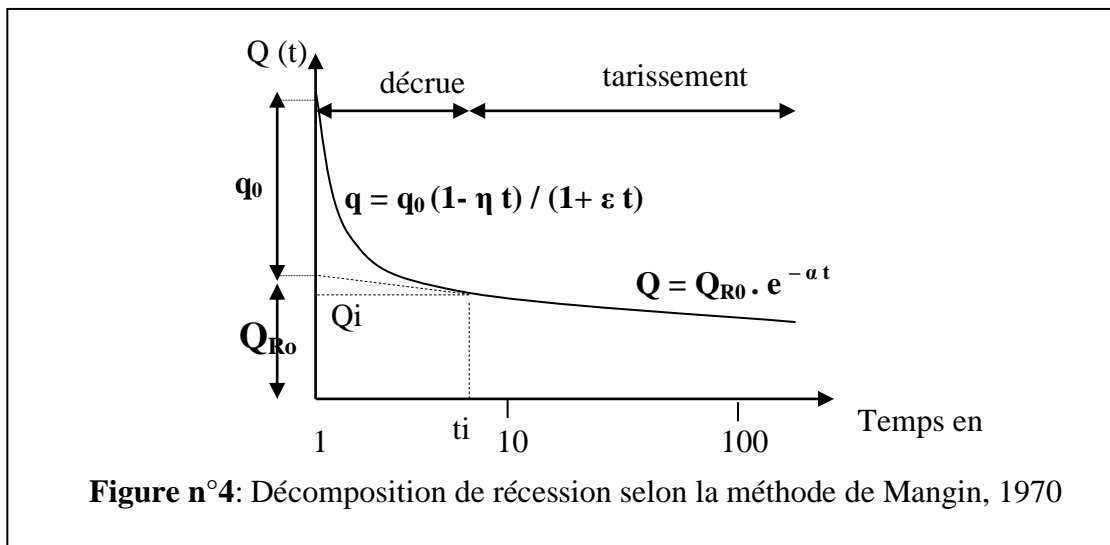
2.3 ANALYSE DES COURBES DE RECESSION – FONCTIONNEMENT DE LA ZONE D'INFILTRATION ET CELLE NOYEE–CLASSIFICATION DES SYSTEMES AQUIFERES

2.3.1 PRINCIPE DE LA METHODE

La méthode se base sur une représentation conceptuelle «boite grise» de l'aquifère qu'on assimile à un réservoir se vidangeant au travers d'un bouchon poreux. Dans ce type d'analyse, on ne s'intéresse qu'à la partie décroissante de l'hydrogramme de crue d'une source appelée récession. Pour mettre en évidence l'écoulement lié à l'infiltration dans la zone non saturée du karst, M. MANGIN [1], [2] et [3] a amélioré ce modèle en 1970. Le réservoir de base représentant la zone d'infiltration est alimenté par un second, qui est au fait l'écoulement suscité avec un débit d'infiltration (q_i), correspondant à la zone noyée.

De ces courbes de récession, on peut distinguer :

- La décrue, durant laquelle l'infiltration (q_i) influence la vidange du réservoir ;
- Le tarissement, qui débute au moment de cessation du débit d'infiltration. La vidange du réservoir principal obéit alors uniquement à la loi de MAILLET [3] (cf. fig.4).



Une classification a été établie à partir des résultats de l'analyse des courbes de récession, afin de comparer les systèmes karstiques. Elle repose sur le calcul des deux coefficients (i) et (k) et leur report sur le diagramme de classification de M. MANGIN [1], [2] et [3] (fig.5).

i : coefficient caractérisant les retards à l'infiltration ($0 < i < 1$). Il est pris égal à la valeur de la fonction homographique deux jours après la pointe de crue, une valeur, tendant vers la borne supérieure signifie une infiltration lente ou complexe contribuant à une meilleure régulation de l'écoulement, si au contraire elle tend vers la borne inférieure, elle traduit alors un transit rapide des eaux vers la zone noyée. [1], [2] et [3].

k : paramètre traduisant l'aptitude de la zone noyée du karst à stocker les précipitations et les restituer progressivement dans le temps (k en général < 0.5). Il est égal au rapport entre le volume dynamique maximum obtenu sur une grande période et le volume de transit inter-annuel sur la même période. Une valeur proche de 1 signifie que le pouvoir régulateur de l'aquifère est élevé.

Le recours à toutes ces méthodes pour l'étude des deux complexes éocènes et maestrichtien, est évidemment, pour déduire le comportement de leurs exutoires respectifs, Ain Erkel et Ain Zerga, estimer le volume dynamique et aboutir ensuite à la classification des dits systèmes. [1], [2] et [3].

2.3.2 FONCTIONNEMENT DES ZONES D'INFILTRATION ET CELLE NOYÉES

Conformément à l'expression (1) et à l'aide d'un traitement par voie automatique (micro-ordinateur) des données, on a pu obtenir des représentations graphiques telle que celle reportée à la fig. 3 et dont les essais d'ajustement selon la fonction mathématique exponentielle n'ont permis de retenir que :

- dix-huit (18) courbes de récession parmi les vingt trois relatives à Ain Erkel ;
- seulement onze (11) des dix-huit courbes de récession représentatives de l'écoulement de la source Ain Zerga.

Le calcul des divers paramètres hydrogéologiques caractérisant le milieu, montre une certaine diversification des principaux paramètres identifiant le fonctionnement des zones d'infiltrations et celles noyées au sein des deux réservoirs

2.3.3 FONCTIONNEMENT DES ZONES D'INFILTRATION

La fonction infiltration (3) obéissant à l'équation empirique établie par MANGIN, 1970 [1], [2] et [3], et les grandeurs η et ε en définissent la nature.

Les très faibles valeurs de (ε) repérées à Ain Erkel ($\varepsilon_{\text{moy}} = 0.0095$) synonyme alors d'une infiltration lente au sein du système éocène. Celui du Maestrichtien quant à lui, il se distingue par une variabilité de vitesse d'infiltration où ε oscille entre deux fourchettes :

- L'une de très faibles valeurs: $0.001 < \varepsilon < 0.01$ indiquant une infiltration lente;
- La seconde, de valeurs plus importantes: $0.01 < \varepsilon < 1$ signe d'une infiltration moyennement lente.

D'autre part, les valeurs de (η) convergent ou tendent vers zéro, ce qui confirme on certifie

qu'on assiste à une infiltration lente.

2.3.4 FONCTIONNEMENT DES ZONES NOYÉES.

Le fonctionnement des zones noyées peut être identifier par l'application de la fonction (2) et la détermination du coefficient de tarissement (α).

Les très remarquables changements inter-annuels des valeurs de ce coefficient, ainsi que celles du volume dynamique s'expliquent plutôt par des régimes d'écoulement influencés au sein des dits zones et qui sont certainement dus aux augmentations des pertes de charges à l'amont de chaque exutoire. Les valeurs du volume dynamique varient de 0.056 à 1.728 Mm³ et les paramètres d'ajustement sont dispersés ce qui peut constituer un indice de la présence de réserves importantes et les zones noyées sont en régime influencé durant une grande période.

2.3.5 CLASSIFICATION DES SYSTEMES.

Le calcul de i (prise comme moyenne des différentes valeurs des divers cycles) et k (cf. Tableau ci dessus) ainsi que le report de leurs valeurs sur le diagramme de classification (MANGIN, 1970) [1], [2] et [3], des systèmes karstiques, ont révélé que les deux systèmes aquifères carbonatés sont karstiques ($k < 0.5$) et complexes, caractérisés généralement par une géométrie de grande taille avec de nombreux sous-systèmes, malgré la nette diversité dans leurs comportements, possédant un fort pouvoir régulateur et des retards à l'alimentation importants traduisant la présence de réserves. Ils sont alors analogues au modèle de la fontaine de Vaucluse (fig. 5).

Tableau 3. Systèmes aquifères

Système aquifère	k	I
Eocène	0,1430	0,8220
Maestrichtien	0,3805	0,7955

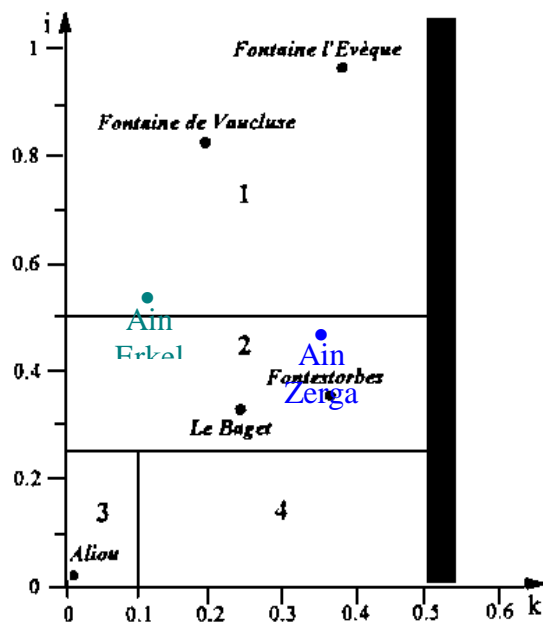


Fig.5 Classification des systèmes

1 : Système complexes (généralement de grande taille avec de nombreux sous-systèmes)

2 : Système plus karstifié à l'amont qu'à l'aval, avec des retards à l'alimentation dus, soit à des terrains non karstiques, soit à une couverture neigeuse

3 : Systèmes possédant des réseaux de drainage très développés avec une zone noyée peu importante (domaine des réseaux spéléologiques très développés)

4 : Système possédant des réseaux spéléologiques bien développés débouchant en aval sur un important karst noyé

CONCLUSION

L'application des méthodes de l'approche fonctionnelle aux systèmes aquifères du synclinal du Dyr-Gastel a permis d'admettre une complexité très significative du fonctionnement de l'exutoire du système maestrichtien, tandis que celui éocène est plus simple. A travers les représentations graphiques obtenues une persévérance des apports d'alimentation en provenance d'autres systèmes annexes, a été constatée.

Selon les valeurs des différents paramètres hydrogéologiques caractéristiques du milieu, une infiltration lente qui se voit moyennement lente au sein du système maestrichtien, a été visualisée, et un régime d'écoulement influencé dû aux augmentations des pertes de charge à l'amont de chaque source est perceptible.

Le report des valeurs de i et k sur le diagramme de classification montre que les systèmes en question sont analogues à celui de la fontaine de Vaucluse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] CROCHET PH. 1996, Le karst de Gervane (Drôme). Evaluation et mobilisation des ressources en eau. (Séminaire national 27, 28 et 29 novembre 1996. Montpellier, France).
- [2] CROCHET PH. 1996 et MARSAUD B. 1996, Approche conceptuelle de l'aquifère karstique. Problèmes, méthodologie et exploitation. (Séminaire national 27,28 et 29 novembre 1996 Montpellier, France).
- [3] MANGIN A. 1996, Structure et fonctionnement des aquifères karstiques, les concepts et les approches. (Séminaire national 27,28 et 29 novembre 1996 Montpellier, France).