CHAPITRE V

V.1 Introduction.

Dans ce chapitre nous évaluons les apports liquides sur une période de 30 ans (1980-2010), dans cet objectif, on propose deux approches, une basée sur les données observées et l'autre sur des valeurs estimée par les formules empiriques. Nous étudions également, Les erreurs entre les deux méthodes à l'échelle annuelle.

À la fin de ce chapitre, nous essayons de faire une comparaison et une analyse des résultats obtenues entre les deux estimations pour chaque formule.

V.2 Mesure des Apports liquides réel :

Dans cette étude on se réfère aux données hydrométriques acquises auprès des services de l'ANBT du M'sila, il s'agit d'un échantillon couvrant une période de 30 ans.

V.2.1 Méthode utilisé pour mesure les cotes dans le barrage (échelles Limnimétrique):

Une échelle limnimétrique est une plaque graduée, en métal émaillé ou non, en bois, en ciment, en pierre (lave émaillée) installée de telle façon que, dans la mesure du possible, son extrémité inférieure trempe toujours dans l'eau lors des étiages les plus sévères. Le bois est généralement réservé aux installations provisoires, pour des observations effectuées à 5 ou 10 cm près, et encore lui préfère-t-on souvent la tôle émaillée, facile à installer et récupérable. Au contraire, la lave émaillée, inaltérable mais lourde et fragile, n'est utilisée que pour des installations fixes effectuées dans d'excellentes conditions sur des supports indéformables : piles ou culées de pont, murs de quais, etc.

Dans les États de la Communauté, on n'utilise plus actuellement que la tôle émaillée. Les échelles sont alors préparées par éléments de 1 m percés de 6 trous de fixation. Dans le sens de la longueur, les bords sont légèrement rabattus pour assurer une certaine rigidité à l'élément. Les modes de graduation sont très variés ainsi que les couleurs utilisées. Les couleurs les plus courantes sont: noirs sur fond jaune et noir sur fond blanc; il faut éviter d'employer le rouge. Peu actinique, surtout sur fond de verdure.

Il n'y a pas, à vrai dire, de règles générales pour le choix d'une station limnimétrique ; les facteurs intervenant sont trop nombreux pour être efficacement catalogués dans une simple nomenclature. En principe, il faut installer l'échelle dans un bief sensiblement rectiligne, dans

lequel on puisse choisir une bonne station de jaugeages; il faut si possible qu'il n'y ait pas d'oscillations parasites du plan d'eau (batillage).On peut toutefois être amené à séparer le problème des mesures de hauteurs, qui demandent une section stable, de celui des mesures de débits dont la précision exige de bonnes conditions d'écoulement si elles sont faites au moulinet ou un brassage énergique s'il s'agit de jaugeages chimiques. Ces deux qualités ne sont pas obligatoirement réunies un même endroit.

La plupart du temps, l'emplacement d'une station est fixé par des considérations tout à fait différents : possibilités de lecture et d'accès (route, bac, village...), emplacement des futurs ouvrages lorsqu'il s'agit d'une étude hydrologique particulière. Il faut bien se contenter alors des conditions imposées par la topographie locale: l'échelle sera placée à l'endroit le plus favorable du périmètre admissible. On évitera en général de l'installer sur les piles d'un pont, surtout si eues sont cylindriques, les culées sont préférables et un mur de quai est parfait dans la mesure où l'emplacement choisi n'est pas dans le remous d'un ouvrage. 11 vaut mieux placer une échelle à l'amont d'un pont qu'à l'aval, à moins de la mettre suffisamment loin vers l'aval. Dans le cas d'un radier submersible, on posera l'échelle assez loin à l'aval de l'ouvrage et non à l'amont, surtout si le radier est provisoire et restauré chaque année; cependant, l'échelle sera installée à l'amont si le lit de la rivière est instable et si le radier constitue une section de contrôle acceptable.

Après avoir installé une échelle, il est nécessaire de niveler son zéro par rapport à un repère fixe (borne dénivellement située en dehors de la limite des plus hautes eaux, repère pris sur un quai, un bâtiment, etc.).Si c'est possible, on rattache le zéro au nivellement général du pays ou au nivellement cadastral de la localité. On dit qu'une échelle est sensible si une variation importante du plan d'eau correspond à une faible variation du débit par unité de largeur: par exemple dans le cas d'une station située à l'amont d'un étranglement du lit de la rivière. Au contraire, une échelle installée immédiatement à l'amont d'un seuil sera peu sensible (mais stable). **M. ROCHE** ; pour notre cas déjà limnimétrie en placer dans le barrage Ksob. Le tableau (**33**) récapitule les valeurs des précipitations annuelles et les lames annuelles mesuré, il résume l’ensemble des caractéristiques obtenues lors de l’estimation.

Tableau (33) Apports liquides enregistrés au barrage du Ksob

Année	Pluie (mm) annuelle	Apport Hm³	lame d'eau écoulée (mm)	Année	Pluie (mm) annuelle	Apport Hm³	lame d'eau écoulée (mm)
1980-1981	292,3	19,95	13,70	1995-1996	342,7	52,50	36,06
1981-1982	343,7	24,91	17,11	1996-1997	242,9	12,74	8,75
1982-1983	300,0	29,65	20,36	1997-1998	294,8	41,64	28,60
1983-1984	264,1	5,59	3,84	1998-1999	303,2	18,32	12,58
1984-1985	271,7	14,57	10,00	1999-2000	307,4	63,24	43,44
1985-1986	343,2	41,29	28,36	2000-2001	279,0	17,13	11,77
1986-1987	384,6	35,29	24,24	2001-2002	363,7	24,88	17,09
1987-1988	338,6	15,25	10,47	2002-2003	419,1	72,10	49,52
1988-1989	325,0	17,44	11,98	2003-2004	422,7	75,69	51,98
1989-1990	346,5	45,41	31,19	2004-2005	353,9	52,23	35,88
1990-1991	322,2	21,32	14,64	2005-2006	439,1	71,41	49,05
1991-1992	367,2	38,69	26,58	2006-2007	366,1	80,53	55,31
1992-1993	423,3	16,56	11,37	2007-2008	327,9	68,09	46,77
1993-1994	307,9	22,27	15,29	2008-2009	508,9	101,20	69,51
1994-1995	264,6	103,71	71,23	2009-2010	390,5	43,27	29,72

Source **ANBT [M'sila]**

D'où :

$$\mathbf{Le = A /S.10^{-3}}\text{.....(V.01)}$$

Le : lame d'eau écoulée (mm).

A : apport annuel (hm^3).

S : surface du bassin versant (km^2).

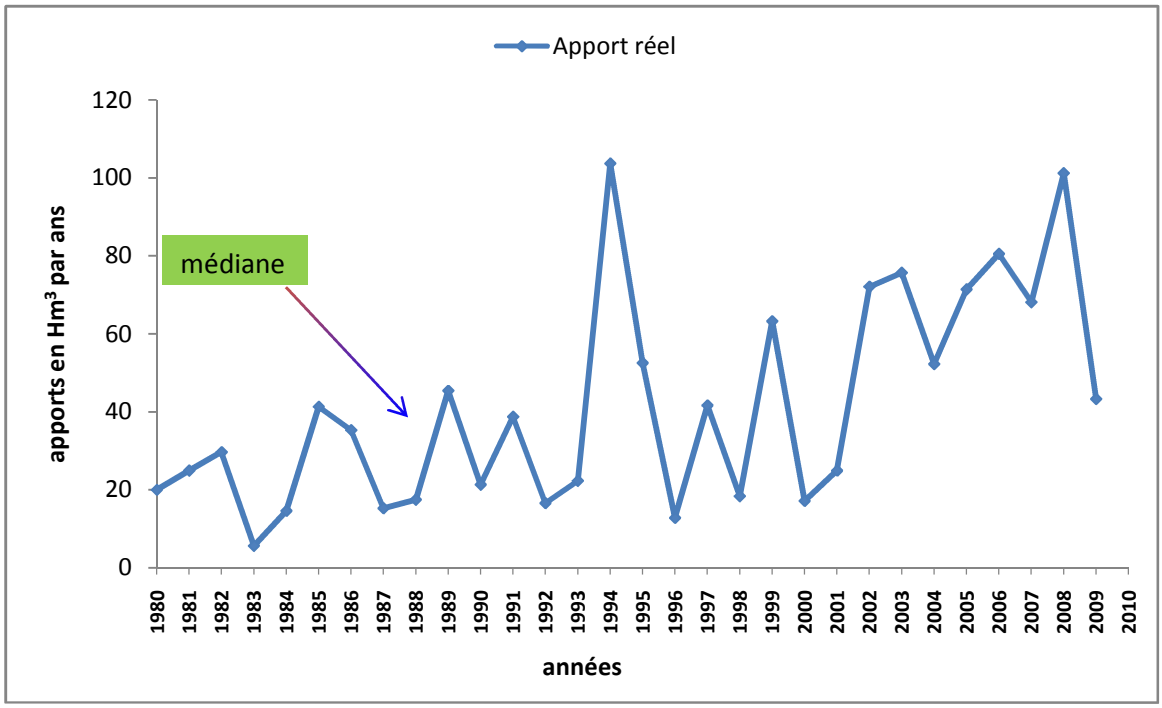


Fig. (27) La variation dans le temps des apports liquides annuels au barrage KSOB de 1980 à 2010.

L'étude de l'apport annuel mesuré Figure (**27**), montre que sur la période (1980-2009) il y a eu des années sèches et des années humides. En effet, en (1983/1984) il y a eu **5.59 Hm^3** Tableau (34) soit **6.62** fois moins que la médiane des apports annuels. En 1994, les apports **103.71 Hm^3** sont **2.80**fois plus important que la médiane. L'écart type important montre que l'on dispose d'une panoplie d'apports représentatifs d'années très différentes.

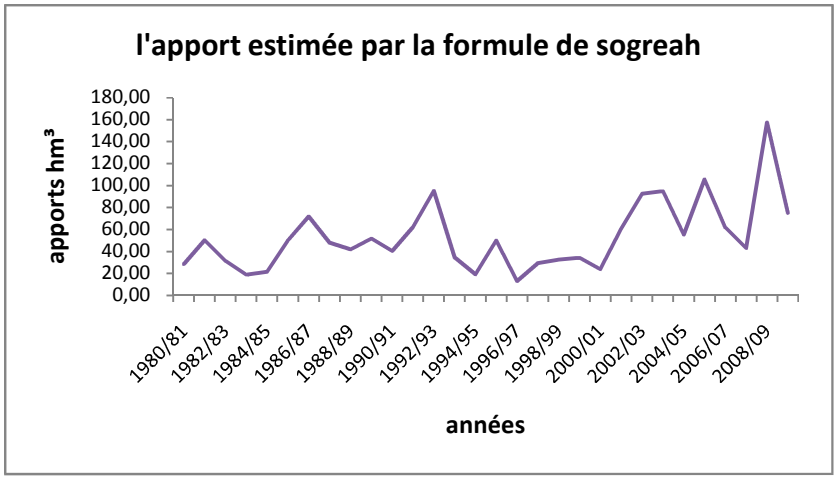
Tableau (34) Valeurs statistiques des apports annuelles à l'exutoire Ksob.

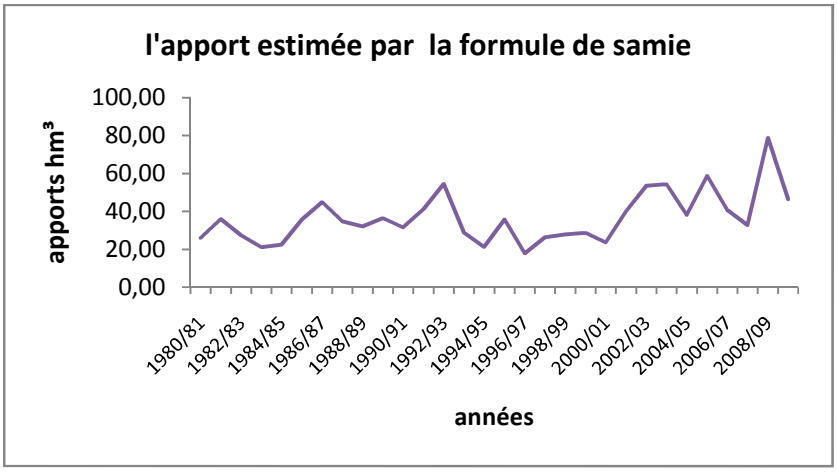
tendance centrale		paramètres de dispersion		
médiane	**moyenne**	**minimum**	**maximum**	**écart type**
36,99 Hm^3	**41,56 Hm^3**	**5,59 Hm^3**	**103,71 Hm^3**	**27,1 Hm^3**

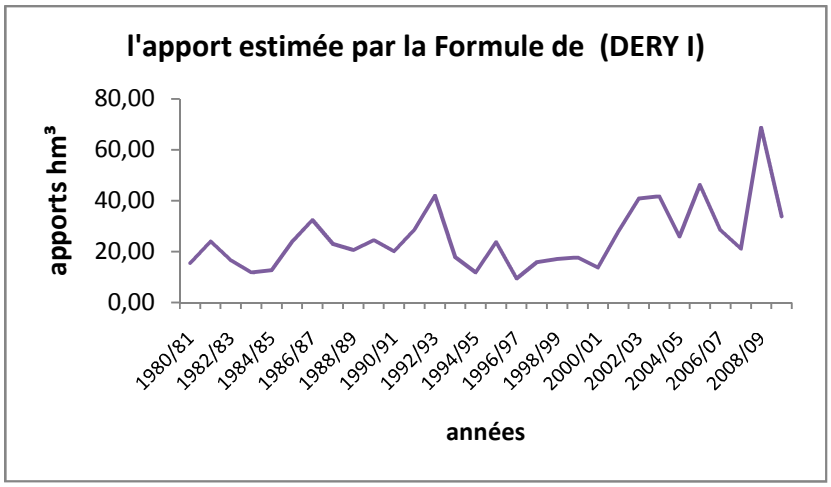
V.3 Estimation de l'apport liquide par les formules empiriques :

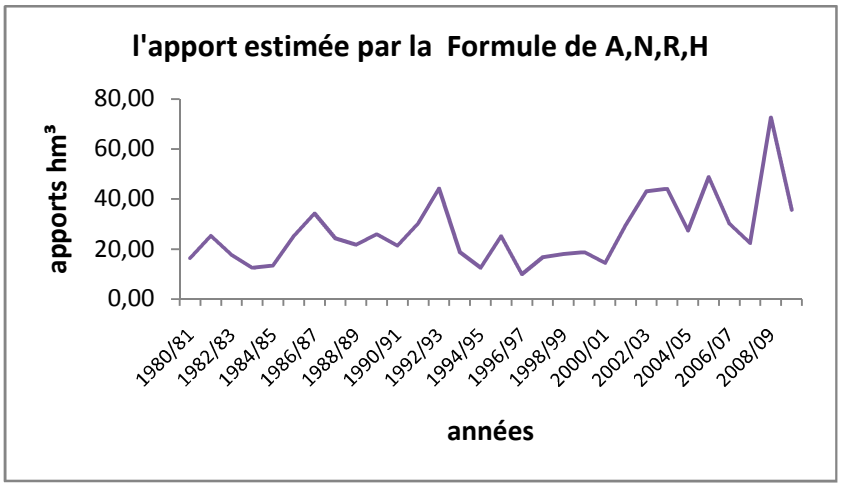
Les apports liquides peuvent être également déterminés par l'approche empirique en utilisant les formules exposées au [chapitre v], pour chaque formule on étudie l'apport liquide annuel (année par année) pour toute la période 1981 -2009.

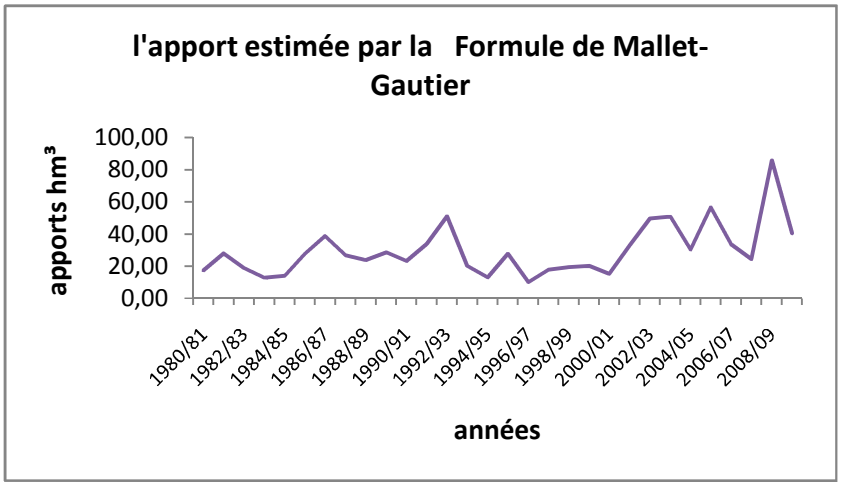
Les résultats obtenus sont représentés dans les figures ci-dessous;






l'apport estimée par la Formule de (DERY I)
apports hm³
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
1980/81
1982/83
1984/85
1986/87
1988/89
1990/91
1992/93
1994/95
1996/97
1998/99
2000/01
2002/03
2004/05
2006/07
2008/09
années


l'apport estimée par la Formule de A,N,R,H
apports hm³
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
1980/81
1982/83
1984/85
1986/87
1988/89
1990/91
1992/93
1994/95
1996/97
1998/99
2000/01
2002/03
2004/05
2006/07
2008/09
années


l'apport estimée par la Formule de Mallet-Gautier
apports hm³
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
1980/81
1982/83
1984/85
1986/87
1988/89
1990/91
1992/93
1994/95
1996/97
1998/99
2000/01
2002/03
2004/05
2006/07
2008/09
années

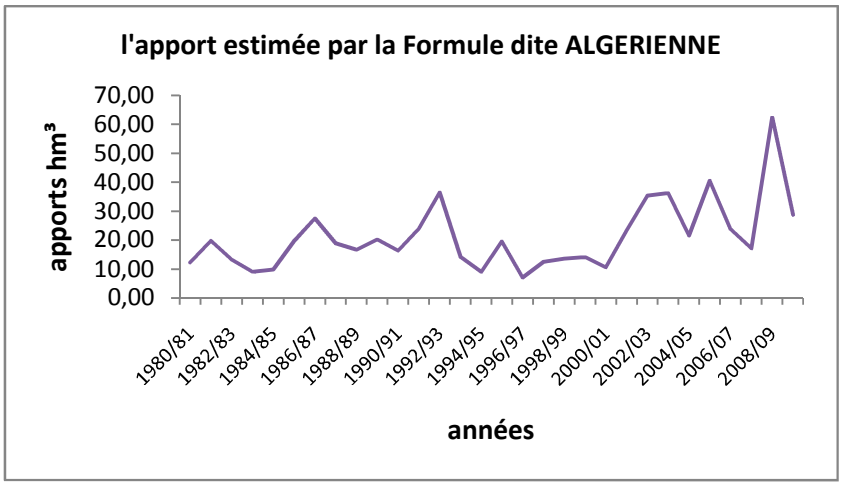


Fig. (28) Explication des apports liquides estimés par plusieurs formules empiriques.

Pour toutes les formules utilisées, on remarque que les apports sont variables entre deux valeurs extrêmes (valeur maximal dans l'année 2008 et une valeur minimale dans l'année 1997).

V.4 Évaluation des erreurs et analyse du résultat :

Pour critiquer les résultats obtenus à l'échelle annuelle par chaque formule, nous utilisons l'erreur relative ER définit comme suit :

$$\left[\text{E.R} = \left|\frac{\mathbf{A_r - A_e}}{\mathbf{A_r}}\right|\right] \qquad \text{…..(V.02)}$$

D'où :

Ar : Apport réel ;

Ae : Apport estimée;

Pour évaluer les résultats sur toute la période, on introduit la moyenne de ces erreurs dite Erreur Relative Moyenne (EMR) et son écart-type pour estimer la dispersion des ER par rapport à leur moyenne.

V.4.1 Formule de Sogreah :

Les apports annuels calculés par cette formule, présentent des anomalies (dispersion des valeurs, …). Cette formule traduit l'influence de la pluie sur leur paramètre. Elle donne des résultats proches des valeurs réelles dans l'allure figue (**28**), mais par rapport les valeurs noter que les résultats surestimé dans les années sécheresse pour l'apport réel et l'inverse se correct,

montre que la formule se sont augmentée, Avec une EMR = de 77% et avec un écart-type **σ** = 94 % Tableau (**34**).

Sur l'ensemble des années de l'étude, la formule surestime les apports liquides, à cette échelle, mais elle présente bien les valeurs extrêmes.

Tableau (34) EMR et σ par la formule Sogreah.

E, M, R	**0,77**
σ	**0,94**

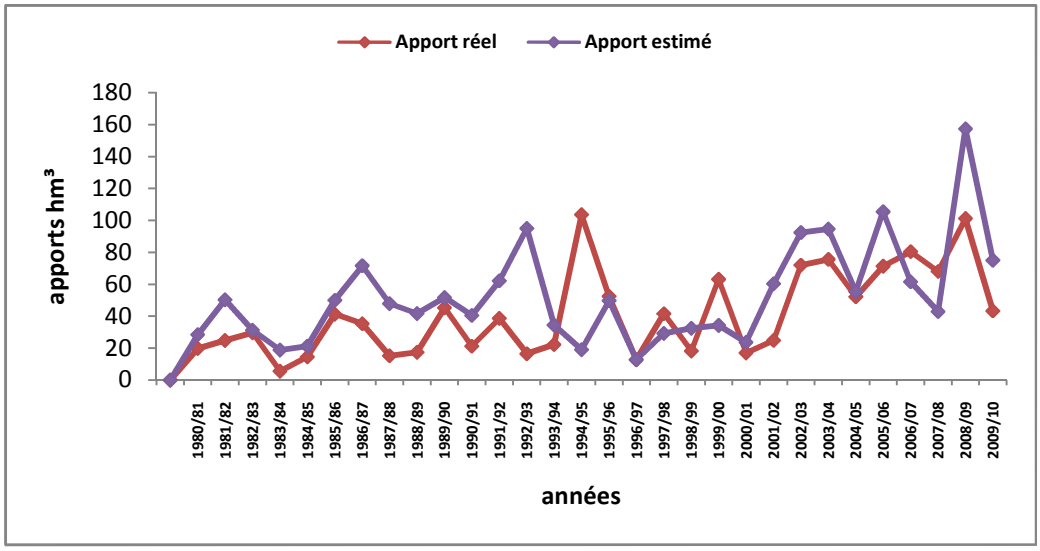


Fig. (29) Comparaison entre l'apport réel et l'apport estimé par formule de Sogreah

V.4.2 Formule de SAMIE :

Pour cette formule, la formule donne des résultats elle présente des résultats médiocre, 2 et 3 fois plus grand que les valeurs réelles pour la période {1980-1993} ; par contre pour la période {1993-1996} elle sous-estime les apports liquides, surtout pour les valeurs extrêmes.

Sur l'ensemble des années de l'étude, une erreur moyenne relative de l'ordre de 54% est observée avec une dispersion σ = 60%, c'est un résultat mauvais par rapport réel, tableau (**35**).

Tableau (36) EMR et σ par la formule SAMIE.

E, M, R	0,54
σ	0,60

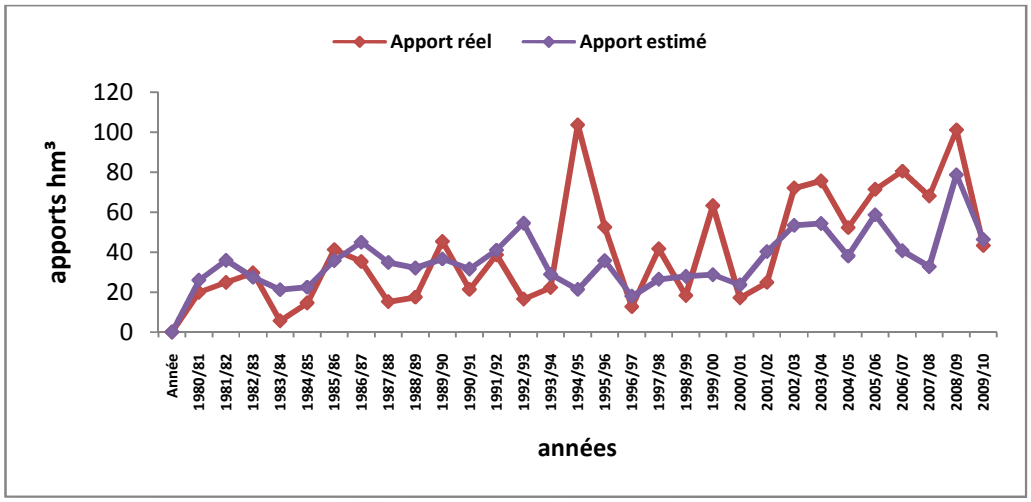


Fig. (30) Comparaison entre l'apport réel et l'apport estimé par formule de Samie

V.4.3 Formule de DERY I

Cette formule prenne en charge le contexte algérien, elle présente des résultats la meilleur sauf la période de 1993/1994 cas particulier et rare donc afin période d'étudie 2002/2003 jusqu'à 2009/2010 cette période sous-estime.

Cette formule sous-estime l'apport liquide dont les erreurs moyennes sont 42%, avec une dispersion de l'ordre de σ = 33% « meilleure estimation pour notre étude ». Donc cette formule valable par rapport les autres formules.

Tableau (37) EMR et σ par la formule DERY I.

E, M, R	0,42
σ	0,33

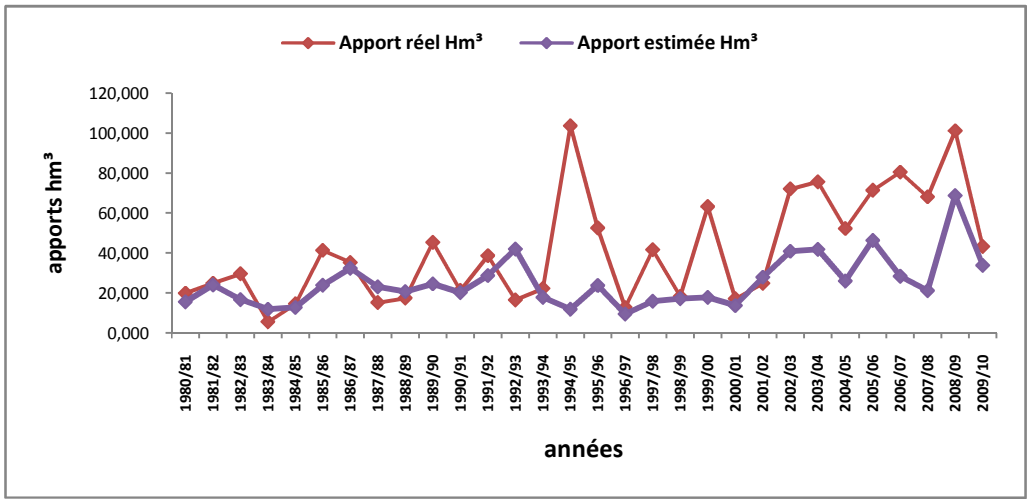


Fig. (31) Comparaison entre l'apport réel et l'apport estimé par Formule de (DERY I)

V.4.4 Formule de l'ANRH

Cette formule relève les mêmes observations que la précédente formule de Dery I. sur toute la période de l'étude, elle sous-estime l'apport liquide avec des erreurs variables de 0% à 168%, soit une erreur moyenne relative de 41% et une dispersion de σ = 37% donc meilleure estimation par ces modèles porte que appliqué sur bassin versant Ksob.

Tableau (38) EMR et σ par la formule de l'ANRH

E, M, R	0,41
σ	0,37

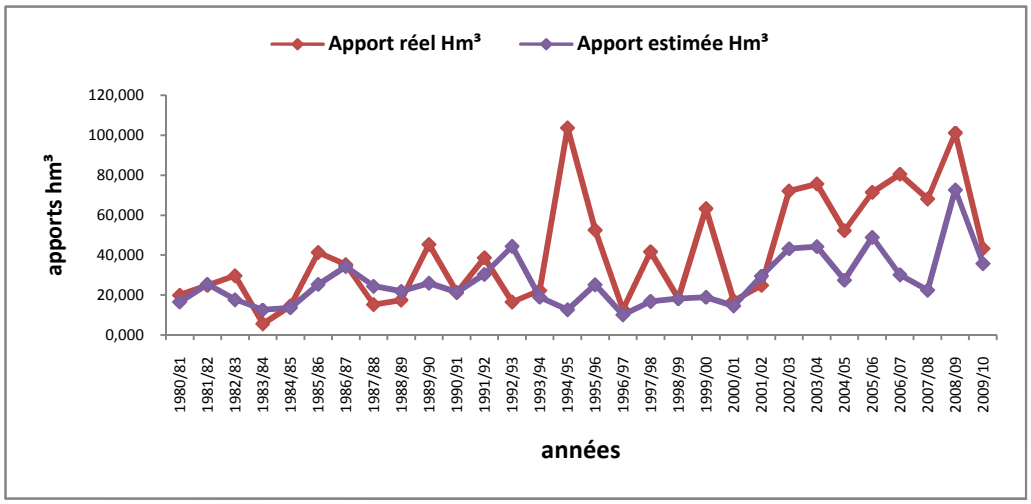


Fig. (32) Comparaison entre l'apport réel et l'apport estimée par Formule de ANRH

V.4.5 Formule de Mallet-Gautier :

Les résultats de cette formule présente des qualités différentes pour deux périodes différentes. Pour la période 1980 jusqu'à 1992 ses résultats sont très proches de la réalité, mais pour le reste des années les résultats sont médiocres sauf la crue exceptionnelle. Une erreur relative moyenne de l'ordre de 41% est observée (avec une dispersion σ = 43%), avec une valeur maximale qui peut atteindre 200%.

Tableau (39) EMR et σ par la formule de Mallet-Gautier

E, M, R	0,41
σ	0,43

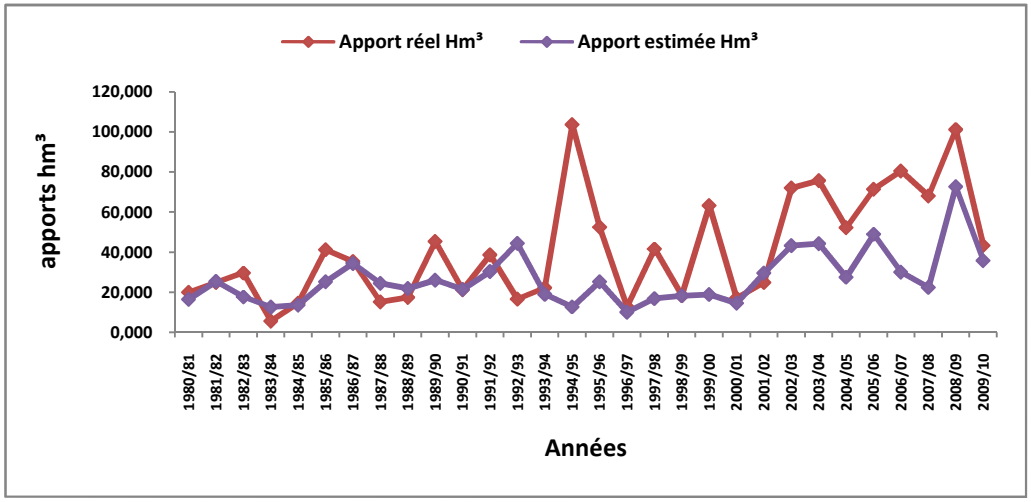


Fig. (33) Comparaison entre l'apport réel et l'apport estimé par Formule de Mallet-Gautier

V.4.6 Formule dite ALGERIENNE :

Cette formule proposée pour exprimer le contexte Algérien, présente des écarts non considérables entre les apports réels et calculés. Elle sous-estime l'apport liquide avec une erreur moyenne relative de l'ordre de 47% ($\sigma = 25\%$).

Tableau (40) EMR et σ par la formule dite ALGERIENNE

E, M, R	0,47
σ	0,25

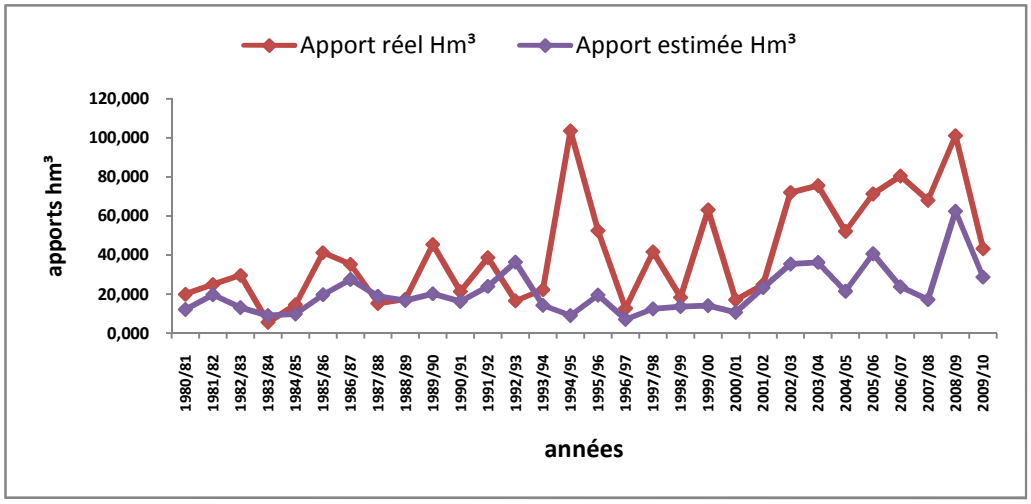


Fig. (34) Comparaison entre l'apport réel et l'apport estimé par Formule dite ALGERIENNE

On peut résumée le EMR annuel résultat dans le tableau suivant :

Tableau (41) Récapitulatif des erreurs Moyennes Relatives et des écarts type des formules utilisées.

formule	Sogreah	SAMIE	DERY I	ANRH	Mallet-Gautier	Dite ALGERIENNE
E, M, R	0,77	0,54	0,42	0,41	0,41	0,47
σ	0,94	0,60	0,33	0,37	0,43	0,25

V.5 Comparaison et discussion des résultats des formules :

Les valeurs des apports liquides réels et ceux calculés obtenu par les différents méthodes sont présentée dans l'annexe (**V**).

La figure (**35**) Montre la variation des apports liquides calculés par différents modèles empiriques aux apports réels enregistrés au niveau du barrage Ksob durant la période 30 ans.

La première lecture de la figure montre que les résultats obtenus par la formule d'ANRH sont les meilleurs, avec un écart type inférieure par rapport la formule Mallet-Gautier, la formule de Mallet-Gautier et DERY I présente également des résultats satisfaisants. Le reste des modèles sous-estime différemment l'apport liquide surtout dans la période 1994-2009.

Les apports évalués par différentes méthodes varient entre 5.59 hm^3 et 157.43 hm^3, les valeurs plus élevée sont données par la formule de **Sogreah** et aussi par celle de **SAMIE.** D'après les résultats obtenus, on estime que la formule d'ANRH donne des valeurs proches de la réalité,

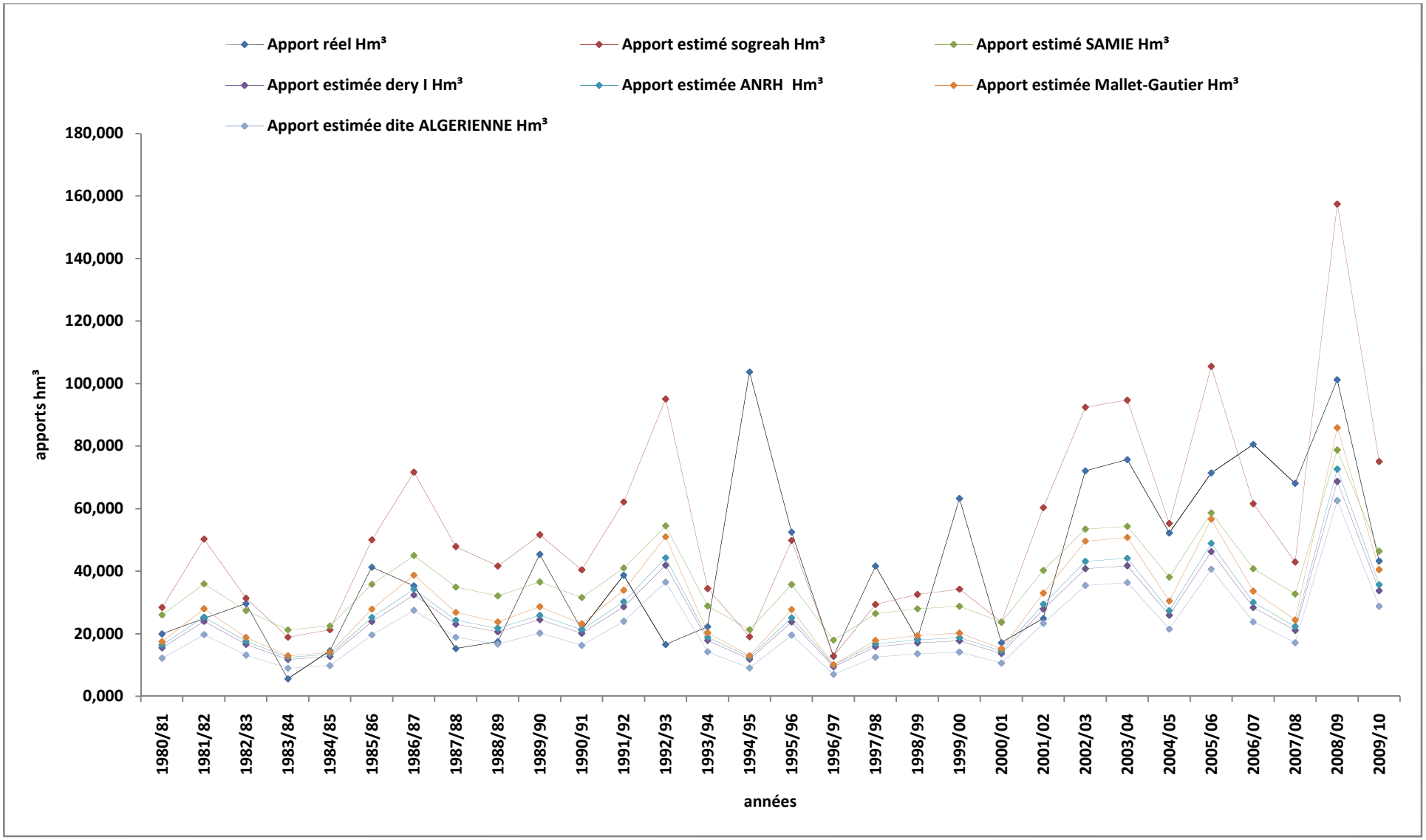


Fig. 35 Comparaison des apports liquides réels et calculés par différentes formules empiriques.

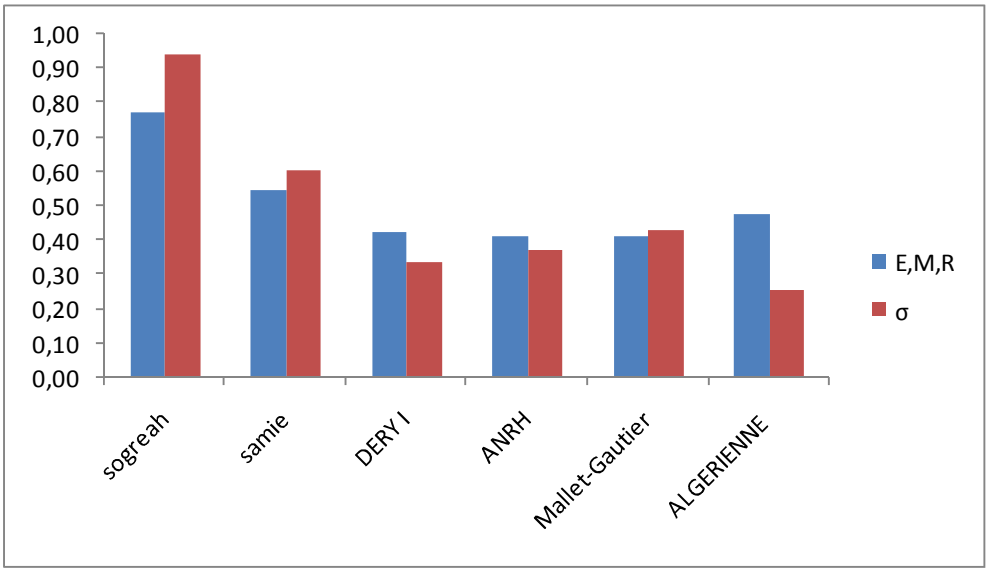


Fig. (36) La variation d'Erreur Moyenne Relative et l'écart type annuelle pour chaque formule.

Pour confirmer le caractère irrégulier entre l'écoulement estimé et observé. Le coefficient de variation (CV) est un bon indicateur, c'est le rapport de l'écart type à la Moyenne. Les plus fortes valeurs sont observées pour la formule de Sogreah (0.89), et formule de Samie (0.37). Par contre un CV plus faible est observés pour les autres formules de l'ANRH, Mallet-Gautier, formule Algérienne, et DERY I, soit 0.14, 0.18, 0.06, 0.11; respectivement.

V.6 Calcul de l'erreur moyenne relative interannuelle:

En réalité les modèles empiriques étudiés sont proposés pour estimer l'apport liquide moyen interannuel, par conséquent, ils utilisent les valeurs interannuelles des paramètres misent en équation. Nous avons calculé les apports liquides par ces modèles à l'échelle annuelle, juste pour avoir une idée sur la variation de leurs erreurs à cette même échelle ; et surtout pour dépasser le problème de non disponibilité des données pour plusieurs sites de barrages.

Pour évaluer les erreurs à l'échelle interannuelle, et les comparer à ceux de l'échelle annuelle on utilise La pluie moyenne interannuelle pour la série de ces stations (annexe V).

L'erreur moyenne relative annuelle et interannuelle obtenu par chaque formule est récapitulés dans le tableau (42), figure (37).

Tableau (42) Comparaison Entre EMR Annuelle Et EMR Interannuel.

Formule	Sogreah	SAMIE	DERY I	ANRH	Mallet-Gautier	ALGERIENNE
E, M, R (annuel)	0,77	0,54	0,42	0,41	0,41	0,47
E, M, R (interannuel)	0,32	0,06	0,71	0,31	0,58	0,71

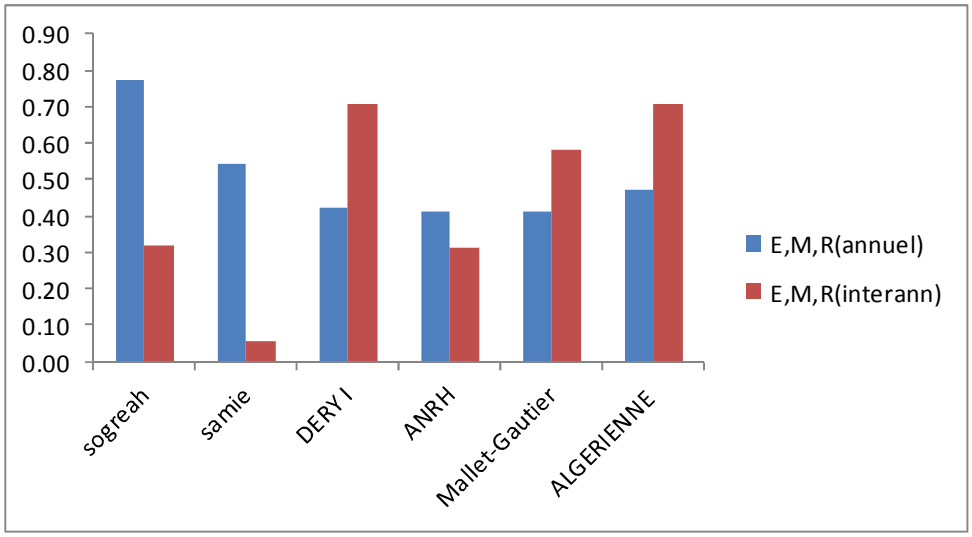


Fig. (37) Comparaison entre EMR $_{annuel}$ et EMR $_{interannuel}$

Conclusion :

On constate que les observations enregistrées à l'échelle annuelle sont confirmées d'avantage par les résultats obtenus à l'échelle interannuelle.

Les erreurs relativement faibles observées pour les résultats obtenus par les formules de ANRH Mallet-Gautier et DERY I à l'échelle annuelle (41%, 41% et 42%; respectivement) sont réduit pour la première valeur et les autres valeurs augmente encore plus en échelle interannuelle, soient 31%, 58% et 71% ; respectivement. Pour les autres formules c'est plutôt le contraire s'est observé ; les erreurs se sont amplifiées.