CHAPITRE VI

VI.1 Introduction.

Dans ce chapitre, nous comparons sur une période de 22 ans (1986-2008), les apports solides observés et ceux calculés par différents modèles empiriques.

L'évaluation des erreurs se fait à l'échelle annuelle et interannuelle pour voir leur ampleur dans ces deux échelles.

À la fin du chapitre, nous essayons de faire une analyse des obtenues pour chaque formule à chaque échelle de temps

VI.2 Évaluation des apports solides

D'une manière générale, il existe essentiellement trois approches pour étudier les apports solides d'un bassin versant :

- Mesure de l'envasement dans une retenue existante ;
- Mesure des concentrations des sédiments transportés par les eaux de l'oued ;
- Estimation d'un taux d'abrasion annuel moyen sur le bassin. pour le cas de notre bassin versant de l'Oued Ksob, on se base sur les levés bathymétriques du barrage Ksob disponibles et fournis par l'ANBT M'sila.

VI.2.1 Mesure d'envasement dans la retenue du barrage Ksob

Principe

Une méthode d'évaluation du transport solide à l'exutoire des bassins a été mise au point à partir de mesures régulières de la bathymétrie des lacs collinaires et d'un suivi du bilan hydrologique de la retenue. La bathymétrie de la retenue se fait par sondages ponctuels du fond de la retenue, suivant des transversales entre les deux rives du barrage. Les extrémités de chaque transversale sont nivelées et positionnées sur le plan de recollement de la retenue.

Sachant que **1 m^3** de vase de densité apparente D_A **= 1.6** et de densité réelle **D_R = 2.5**, contient une tonne (1T) de matières solides sèches **Duquenois (1955)**.

Cette sédimentation progressive de la retenue entraine une diminution croissante de la capacité de stockage en eau du barrage, diminution traduite par les courbes de capacité figure (38).

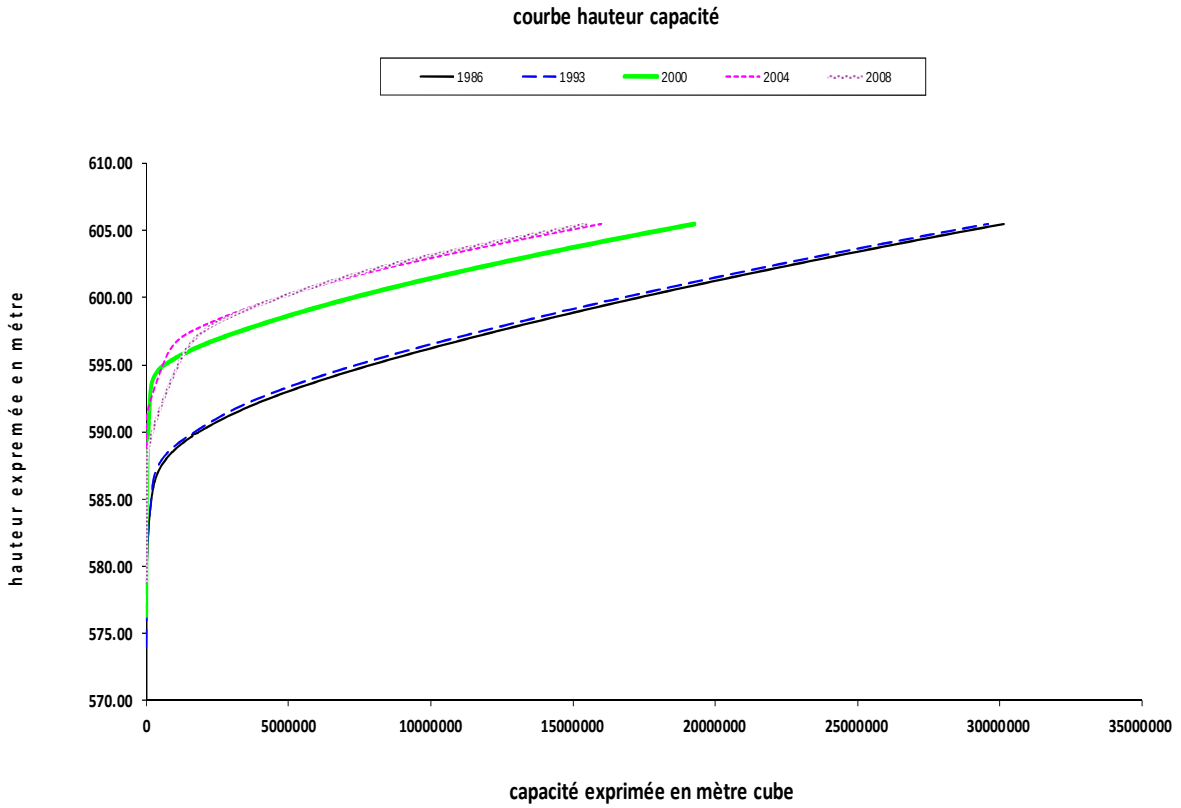


Fig. (38) Courbe hauteur capacité des déférentes périodes.

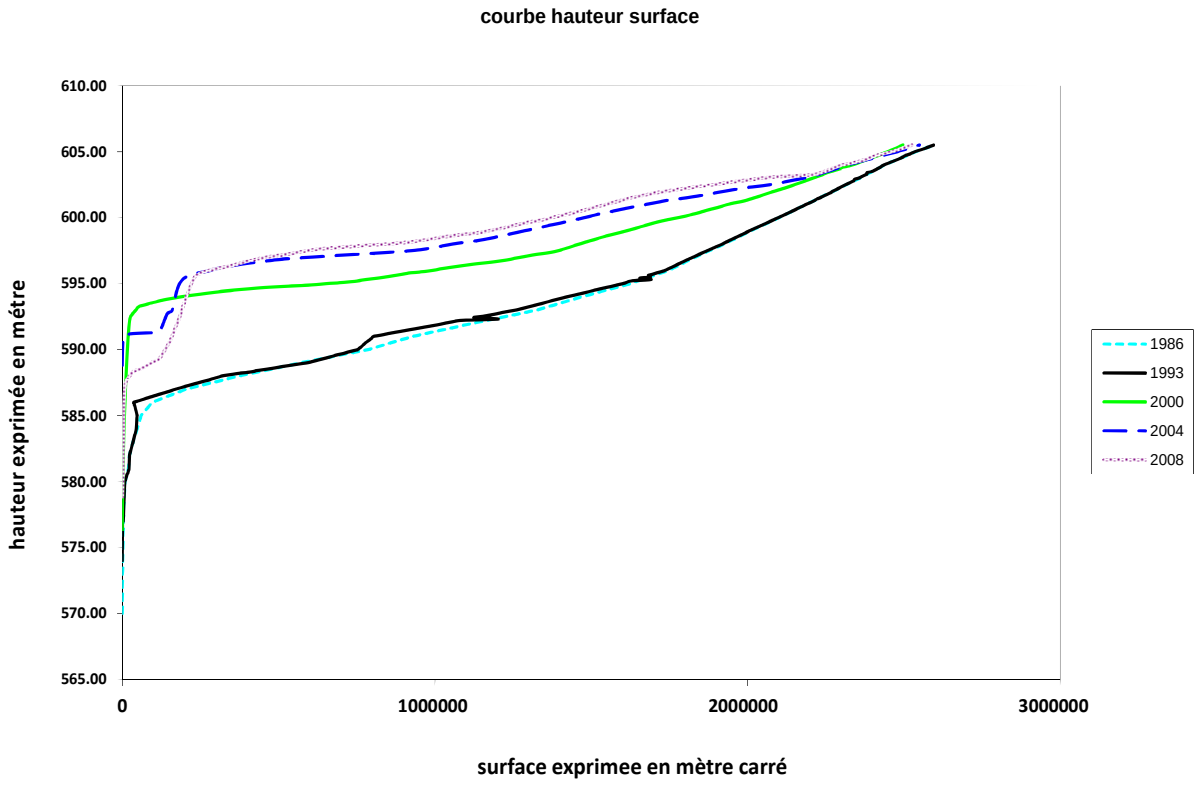


Fig. (39) Courbe hauteur surface des déférents périodes.

Les apports liquides ont véhiculé au barrage des matières solides (matières en suspension et charriage de fond) qui se sont sédimenté au fond de la retenue.

Des campagnes de mesure ou de quantification de la sédimentation ont été effectuées de façon continue au début puis espacé par la suite. Le matériel utilisé est l'éco-sondeur a ultra son dont le principe est de relever la topographie du fond de la cuvette le long de profils transversaux. Le principe de la méthode, l'appareillage et le dépouillement des donnés est largement décrit dans la littérature **Claude J. & Chartier R.** (**1977**) Les résultats des différentes campagnes Tableau (**43**) montrent que :

- Le volume total de l'envasement (période 1986-2008) s'élève à (**14674457 m^3**), soit 44.1 % de capacité totale du barrage figure (40).
- Le taux de comblement de la retenue est de 2 % par ans, ce qui donne a l'ouvrage une espérance de vie 50 ans.

Tableau (43) Capacité envasée du barrage pondant la période observée (1986 – 2008).

Période	Durée (années)	Envasement du barrage		Apport solide annuel (m^3 / an)
		En (m^3)	En (%)	
1986 – 1993	7	550677.00	3.8	78668.14
1993 – 2000	7	10328680.00	70.4	1475525.71
2000 – 2004	4	3272274.00	22.3	818068.5
2004 – 2008	4	526825.92	3.6	131706.48

Source **ANBT** M'sila 2010

L'envasement moyen annuel pour la période 1986-2000 est évalué à 0.77 Hm^3, et pour la période 2000-2008 à 0.47 Hm^3 ; il est variable suivant les périodes d'études (courte ou longue). On distingue quatre périodes :

- De 1986 à 1993, après surélévation du barrage de 15 m, l'envasement périodique a atteint 3.8% a volume de sédiment d'un toute la période d'étude, pendant cette période l'opération de vidange de fond s'effectue régulièrement.
- De 1993 à 2000, l'envasement a atteint le maximum avec 70.4%, tout le volume de l'apport solide de cette période s'est accumulé dans la retenue du barrage. En effet, aucune opération de la vidange du fond n'a été pratiquée pour chasser la charge solide qui se dépose dans la cuvette.
- De 2000 à 2004, l'envasement annuel a chuté à 0.206 Hm^3, même période précédente.

- De 2004 à 2008, l'envasement s'est augmenté en atteignant 0.33 Hm^3 annuellement ; là aussi aucune opération de vidange n'a été pratiquée, le volume restant en eau ne le permettant pas sans risquer de compromettre les irrigations.

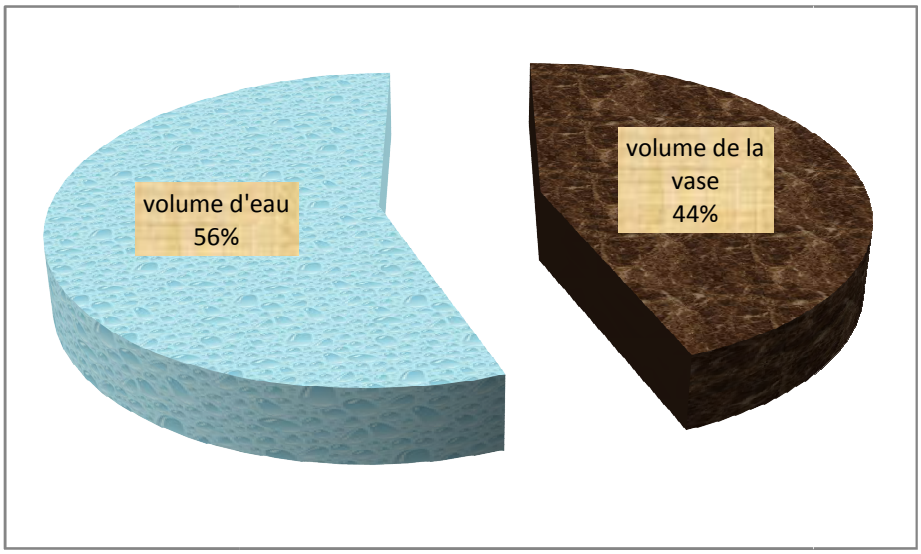


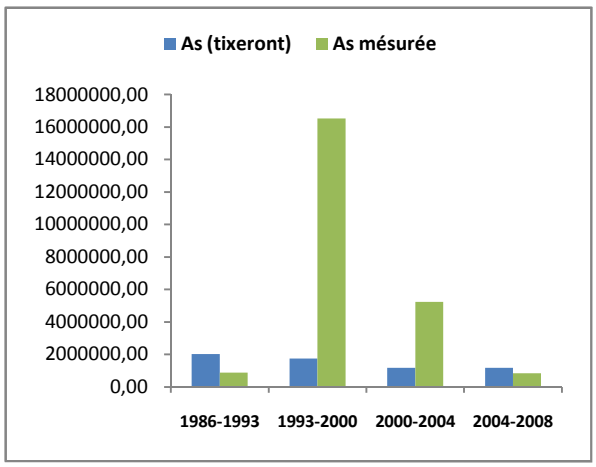
Fig. (40) L'envasement pendant la période 1986-2008 par rapport à le volume totale du barrage Ksob.

VI.3 Prévision des apports solides et évaluation des erreurs :

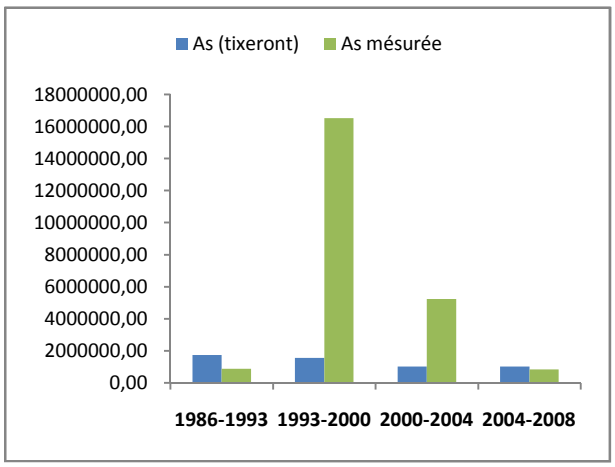
Il existe plusieurs formules empiriques ou semi-empiriques de prévision de transport solide, parmi lesquelles on distingue :

VI.3.1 Formule de Tixeront :

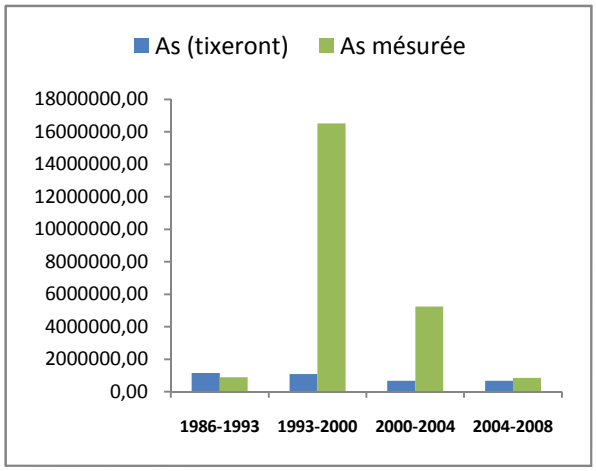
On détermine l'apport solide par la formule empirique de M. Tixeront (pour chaque période) (**annexe VI**), en utilisant la lame d'eau calculée par plusieurs formules empiriques, puis on compare les résultats obtenus dans chaque cas aux mesures réelles figure (41);



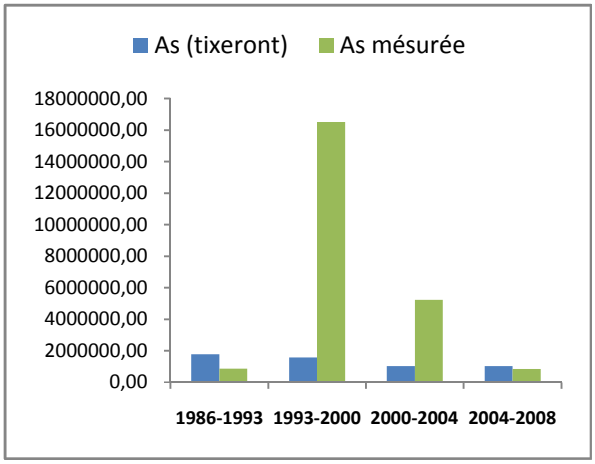
Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de Sogreah



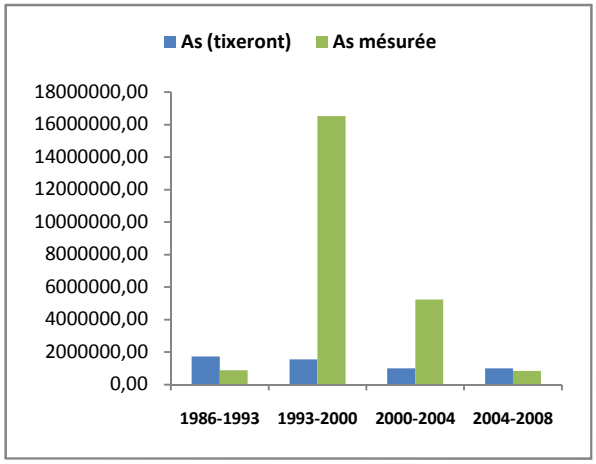
Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de A, N, R, H



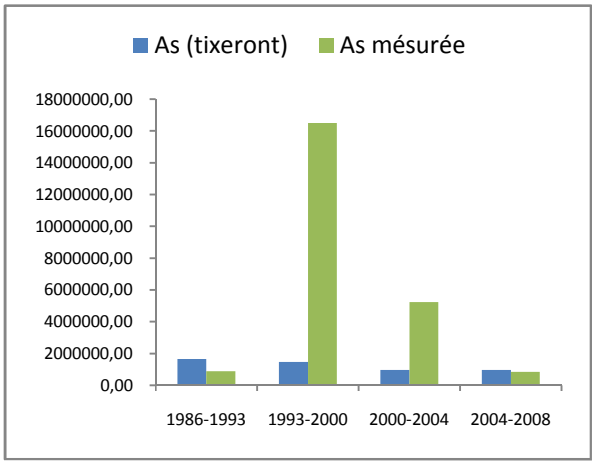
Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de SAMIE



Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de Mallet-Gautier



Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de DERY I



Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule dite ALGERIENNE

Fig. (41) Comparaison de l'apport solide réel celui calculé par la formule de Tixeront.

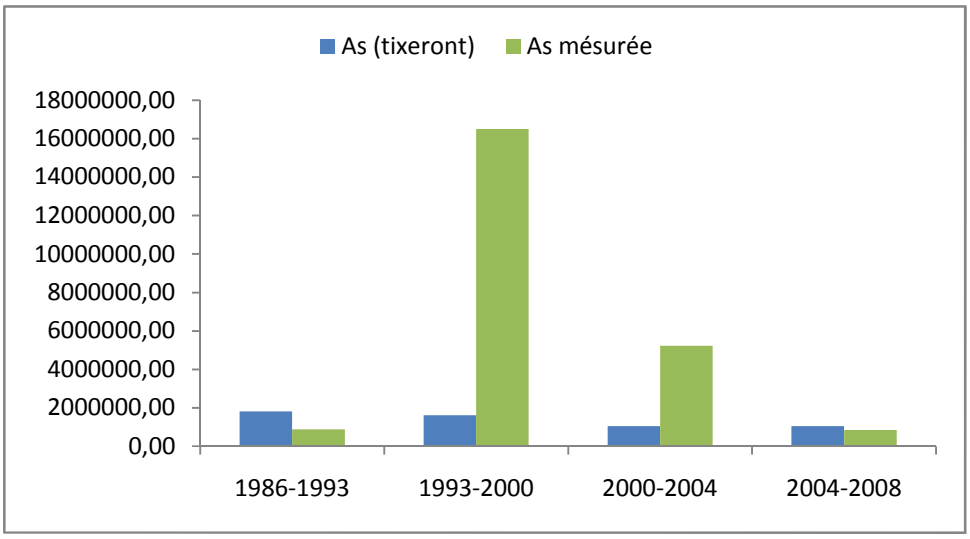


Fig. (42) Variation de l'apport solide en fonction de lame d'eau moyenne estimée par formules empiriques (Tixeront).

D'après la figure précédente, on remarque que la plus grande partie de l'apport solide soit (70.4% de l'apport total est observé durant la période (1993-2000), toutefois, la formule de Tixeront n'a pas détecté ce pic.

Pour les deux périodes (1986-1993) et (2004-2008) les deux valeurs mesurée et calculée se rapprochent, par contre pour la période1993 à 2004 les résultats sont différents.

VI.3 .1 .a Erreur Moyenne Relative Pour Les Quatre Périodes :

Les valeurs des erreurs moyennes relatives à la période (1986-2008) sont calculées suivant la méthode de détermination de la lame d'eau écoulée, pour ce fait on prend en considération :

1- La lame d'eau annuelle déterminée séparément par les formules empiriques (Sogreah, SAMIE. DERY I ……) ;
2- La lame d'eau annuelle moyenne obtenue par l'ensemble de ces formules

VI.3 .1 .b L'erreur moyenne relative en fonction (L_e) estimée par les formules empiriques :

Les valeurs de l'erreur entre les apports solides mesuré et calculé sont élevées quelque soit la formule de calcul de la lame d'eau. Nous récapitulons les résultats de calcul de ces erreurs dans le tableau (44) et la figure (43).

On peut résumée les valeurs des erreurs moyenne relative de formule Tixeront en fonction des la lames d'eau déterminée par les formules empiriques : (**Sogreah, SAMIE, DERY I, ANRH, Mallet-Gautier, dite Algérienne**).

Tableau (44): EMR par formule de Tixeront (annexe VII).

	formule de Tixeront					
période	formule de Sogreah	formule de SAMIE	formule de DERY I	formule d'ANRH	formule de Mallet-Gautier	formule de dite Algérienne
1986-1993	1.30	1.12	0.96	0.98	1.03	0.89
1993-2000	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.91
2000-2004	0.78	0.79	0.81	0.81	0.80	0.82
2004-2008	0.40	0.29	0.19	0.21	0.24	0.15
E, M, R	0.84	0.77	0.72	0.73	0.74	0.69
écart type moy	0.37	0.35	0.35	0.35	0.35	0.36

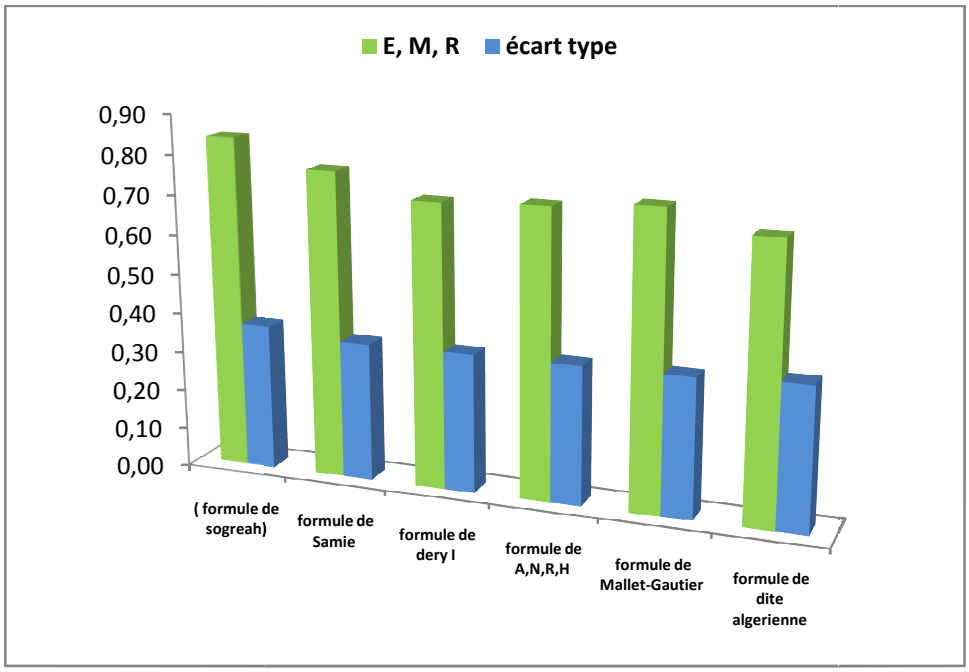


Fig. (43) Variation des erreurs pour l'estimation de As en fonction (Le) calculée par les formules empiriques.

Il est à noter que la répartition des écarts-type est faible pour la période étudiée. Ainsi, nous remarquons que l'erreur moyenne relative est variable entre 84% et 69%

D'après les résultats tableau (44), les variations des erreurs entre les apports réel et estimée par les formules empiriques sont différentes pour chaque formule et l'estimation par différents lame d'eau estimée donne un résultat plus proche.

De ce fait, il convient d'analyser la variation des erreurs et leur relation avec les apports réel et estimée par différents lame d'eau.

VI.3 .1 .c L'erreur moyenne relative en fonction lame moyenne écoulée L_{me} (Formule de Tixeront) :

Nous essayions estime les EMR pour chaque période étudie avec la lame d'eau moyenne comme représentée a tableau (45) :

Tableau (45) EMR en fonction lame moyenne écoulée L_{me} (Formule de Tixeront).

période	formule de Tixeront
1986-1993	1.06
1993-2000	0.90
2000-2004	0.80
2004-2008	0.25
E, M, R	0.75
écart type moy	0.35

Il est à noter que la variation de l'erreur relative moyenne décroit du début vers la fin de la période étudiée avec une moyenne de 75% sur toute la période.

VI.3.1.d Comparaison entre l'apport solide total estimé par formule de Tixeront et l'apport observée de quatre périodes :

Faire une comparaison entre l'apport solide totalement estimé par la formule de Tixeront et l'apport observée de tous les périodes étudie comme représentée à la figure (44).

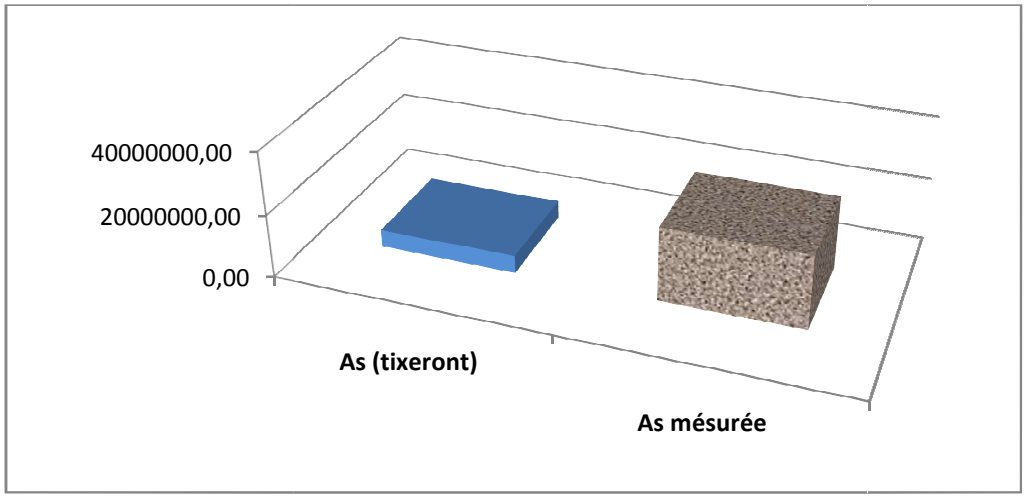


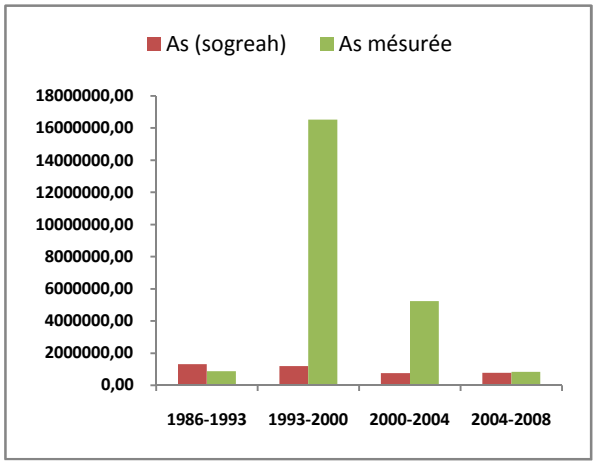
Fig. (44) Comparaison entre l'As estimée par formule de Tixeront en fonction L_{me} et l'As observée au niveau du barrage de Ksob dans la période (1986-2008).

Il existe un écart considérable (plus de 4.2 fois) entre le volume transporté calculée par rapport à celui observée.

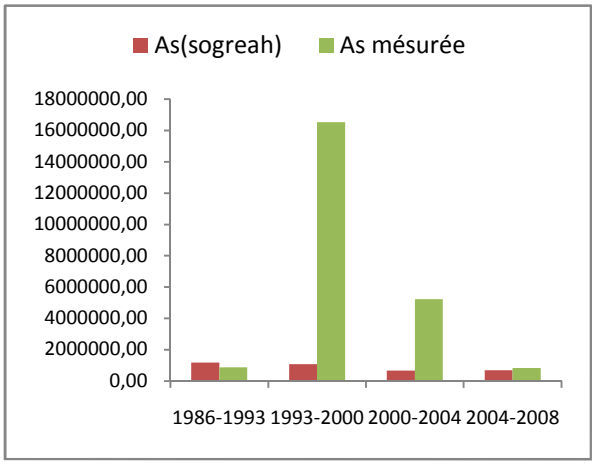
VI.3.2 Formule de Sogreah :

Pour analyser les résultats de cette formule, nous suivons la même méthodologie utilisée pour la formule de Tixeront (**annexe VI**). On compare l'apport solide calculé par la formule de Sogreah tout en changeant la formule (6 formules empiriques) de détermination de la lame d'eau écoulée. Puis on compare l'apport solide observé à celui calculé par la formule de Sogreah avec la moyenne des lames d'eau calculée par les 6 formules. Les résultats obtenus sont récapitulés dans la figure (45).

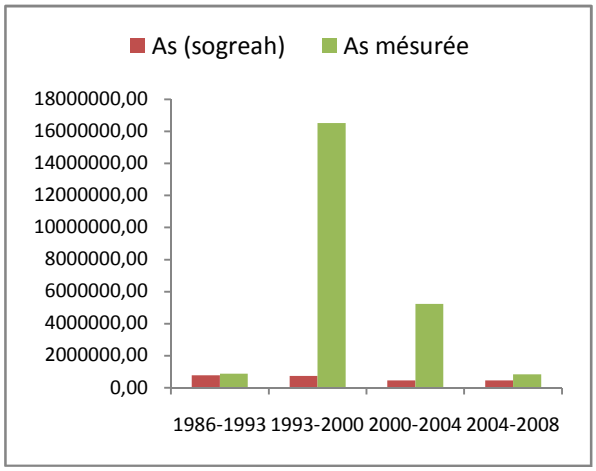
VI.3.2.a Comparaison entre l'apport solide mesuré et calculé par la formule de Sogreah (en fonction la lame d'eau estimée) :



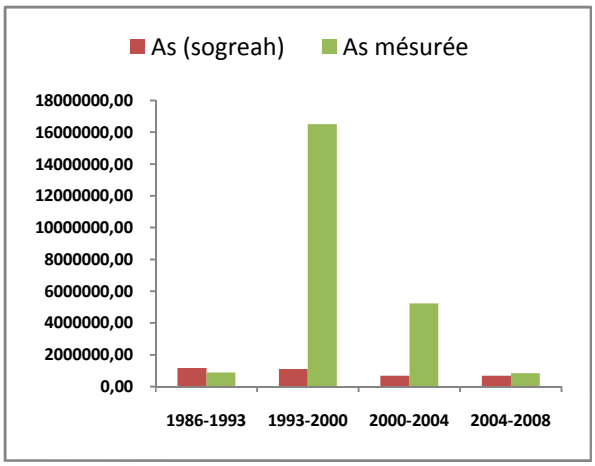
Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de Sogreah



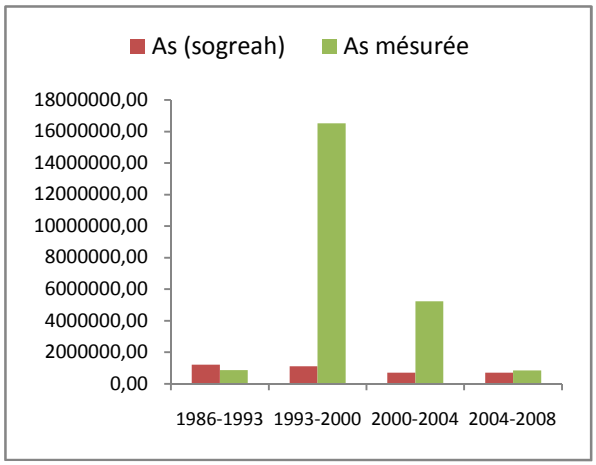
Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de DERY I



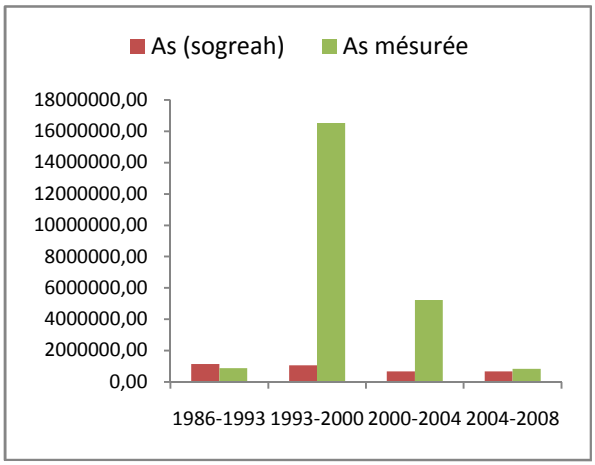
Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de Samie



Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de A, N, R, H



Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule de Mallet-Gautier



Variation d'As réel et As estimée en fonction la lame d'eau estimée par formule dite algérienne

Fig. (45) Comparaison entre l'apport solide mesure et calcule par la formule de Sogreah.

Les résultats montre une augmentation des apports réels pendant les périodes (1993-00) et (2000-04), ces apports réels ne sont pas présenté par la formule de Sogreah ; par contre pour les autres périodes (1986-93) et (2004-08) les apports calculés et observés sont proches.

VI.3.2.b Comparaison entre L'As mesure et calculée par la formule de Sogreah (en fonction la lame d'eau moyenne estimée :

Pour cette comparaison nous avons dont l'apport solide calculé et mesuré par la formule de Sogreah en fonction la lame d'eau moyenne comme représentée sur la figure suivante :

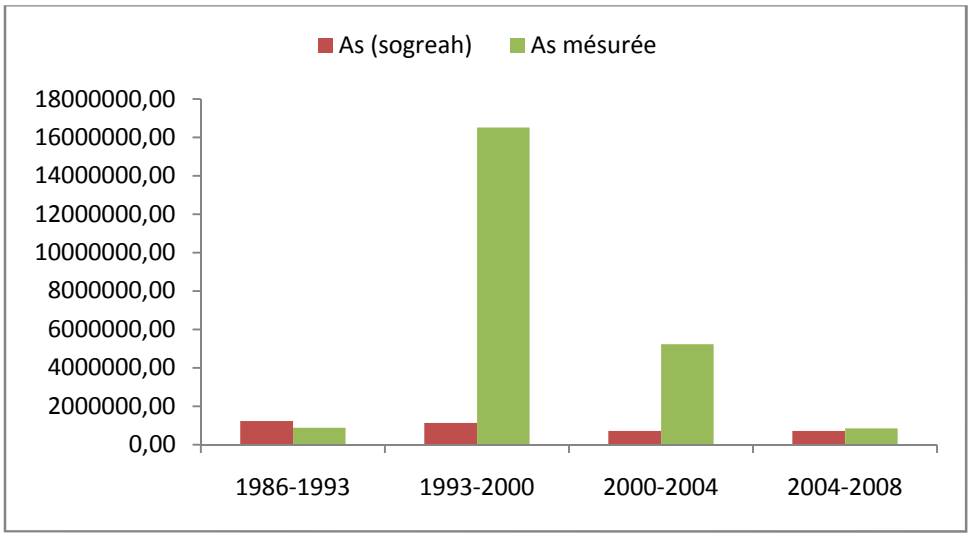


Fig. (46) Comparaison entre L'As mesuré et calculé par la formule de Sogreah (en fonction la lame d'eau moyenne estimée).

Dans l'ensemble des résultats, la formule de Sogreah peut sous-estimer l'apport solide plus de 6 fois par rapport à l'apport réel.

VI.3.2.c L'erreur moyenne relative en fonction (L_e) estimée par les formules empiriques :

On peut résumée les valeurs des erreurs moyenne relative de formule Sogreah en fonction des la lames d'eau déterminée par les formules empiriques : (**Sogreah, SAMIE, DERY I, ANRH, Mallet-Gautier, dite Algérienne**) **annexe VII**. Voir le tableau suivant et la figure :

Tableau (46) E. M. R de la formule de Sogreah en fonction la lame d'eau estimée par les formules empiriques.

	formule de Sogreah					
période	formule de Sogreah	formule de SAMIE	formule de DERY I	formule d'ANRH	formule de Mallet-Gautier	formule de dite algérienne
1986-1993	0.50	0.42	0.34	0.35	0.37	0.30
1993-2000	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.94
2000-2004	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87
2004-2008	0.09	0.14	0.19	0.18	0.17	0.21
E. M. R	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58	0.58
écart type moy	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38

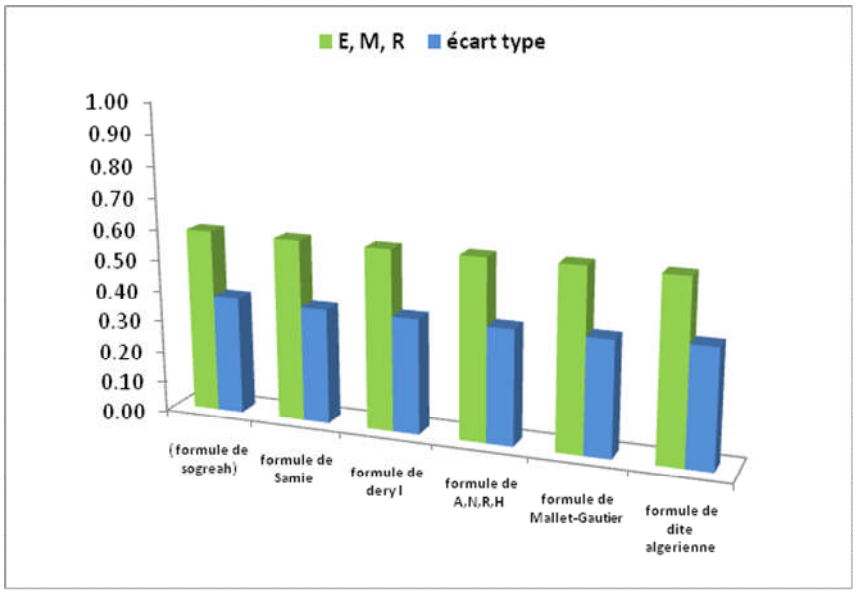


Fig. (47) Variation des EMR pour la formule de Sogreah pour l'estimation de As en fonction la Le calculée par les formules empiriques.

Il noté que ne trouve pas savoir variation notable dans la figure et le tableau ci-dessus entre les déférents formule pour estimée la lame d'eau écoulé soit EMR ou l'écart type.

VI.3.2.d L'erreur moyenne relative en fonction la lame moyenne écoulée (L_{me}) (estimée par les formules empiriques) :

Faire une comparaison entre l'apport solide totalement estimé par la formule de Sogreah et l'apport observée de tous les périodes étudie comme représentée au tableau (47).

Tableau (47) EMR en fonction L_{me}.

période	formule de Sogreah
1986-1993	0.39
1993-2000	0.93
2000-2004	0.86
2004-2008	0.16
E. M. R	0.59
écart type moy	0.37

IL est noté que les valeurs d'EMR trouvées par la formule Sogreah dispersion avec toute la période étudient, et avec une moyenne d'erreur 0.59 et écart type 0.37.

VI.3.2.e Comparaison entre l'As total calculé par formule de Sogreah et l'apport observée :

Faire une comparaison entre l'apport solide totalement estimé par la formule de Sogreah et l'apport observée de tous les périodes étudie comme représentée à la figure (48).

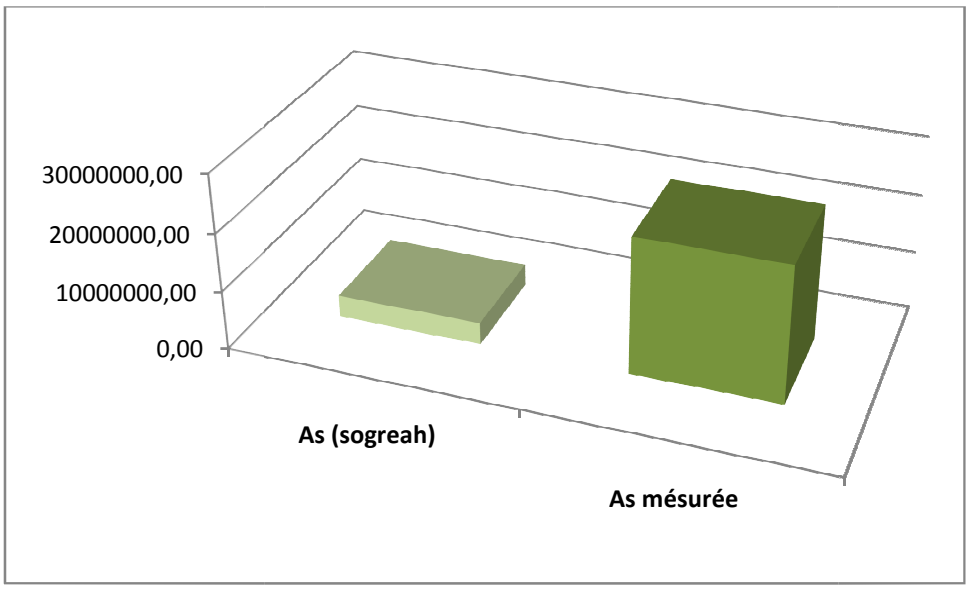


Fig. (48) Comparaison entre l'As total calculé par formule de Sogreah et l'apport observé total.

Concernent l'évaluation du transport solide en employant la formule Sogreah, elle donne des valeurs sous-estimée (As total observée = 4.23 fois que l'apport solides estimée).

VI.3.3 Formule de fournier :

Cette formule est couramment utilisée en Algérie pour l'estimation de la dégradation spécifique, elle est basée sur la pluie de le moins plus pluvieux (annuel ou interannuel), **Lottl C. (1987**). Nous estimons les erreurs de cette formule **(annexe VI**) de la même façon que pour les précédentes formules, voir figure (49).

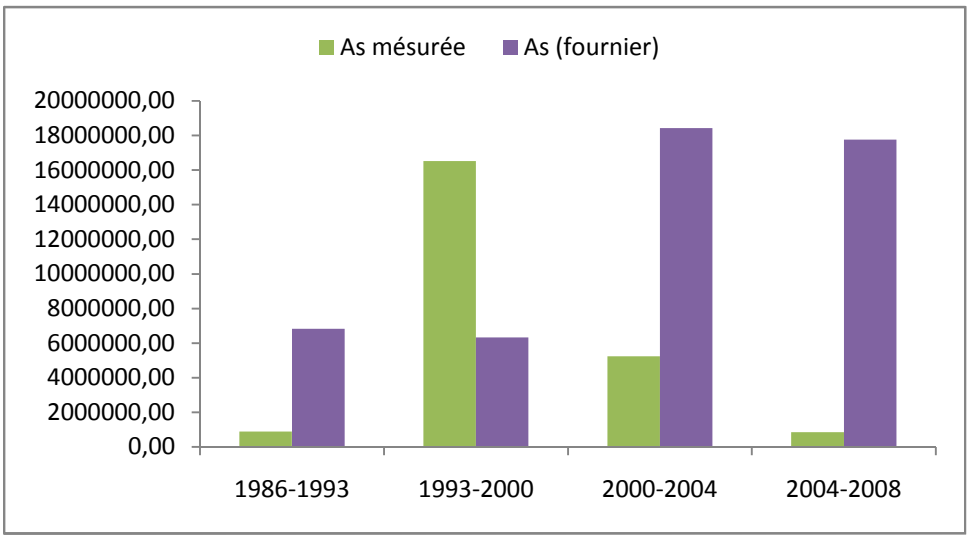


Fig. (49) Variation d'As réel et As estimée par formule de fournier.

Pour les trois périodes (1986-93), (2000-04) et (2004-08) on observe que les résultats obtenus par cette formule surestime l'apport solide ; par contre pour la période (1993-00), elle donne de valeurs sous estimées.

VI.3 .3.a L'erreur relative et l'écart type moyenne relatives à la formule empirique de Fournier :

On peut résumée les valeurs des erreurs moyenne relative par la formule de Fournier comme représenté dans le tableau (48) et la figure (50).

Tableau (48) E.M.R et écart type moyenne entre As mesuré et As estimé (formule de Fournier), pour la période (1986-2008).

Période	Formule de Fournier
1986-1993	6.76
1993-2000	0.62
2000-2004	2.52
2004-2008	20.08
E.M.R	7.49
écart type moy	8.78

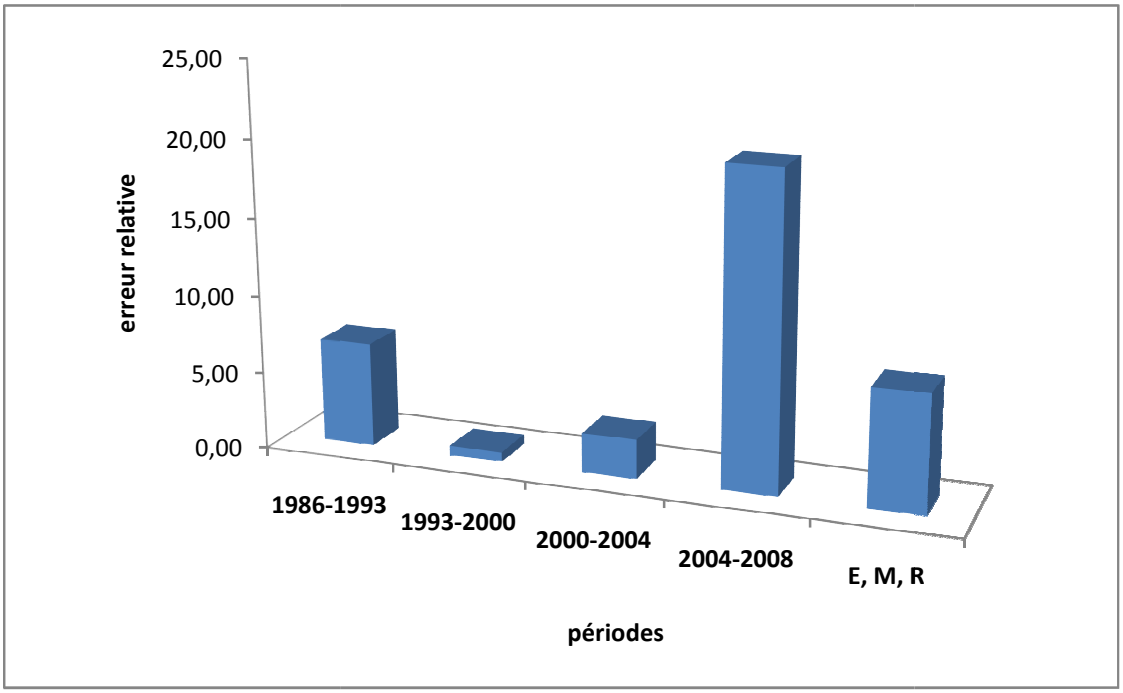


Fig. (50) Variation de l'ER pour les quatre périodes et leur moyenne.

Selon les résultats présentés dans tableau (48) et la figure (50), la formule surestime l'apport solide sur toute la période de l'étude.

La variation des erreurs est liée proportionnellement avec l'indice climatique **($\frac{P_{mon}^2}{\bar{P}}$)**, ce qui explique l'augmentation de l'erreur dans la période (2004-08)

VI.3.3.b Comparaison entre l'As total calculé par formule de fournier et l'apport observée :

Concernant l'évaluation du transport solide en employant le formule de fournier sur toute la période de l'étude, elle donne des valeurs surestimées (As total observée est égale à la moitié environ de l'apport calculé par cette formule), voir figure (51) ;

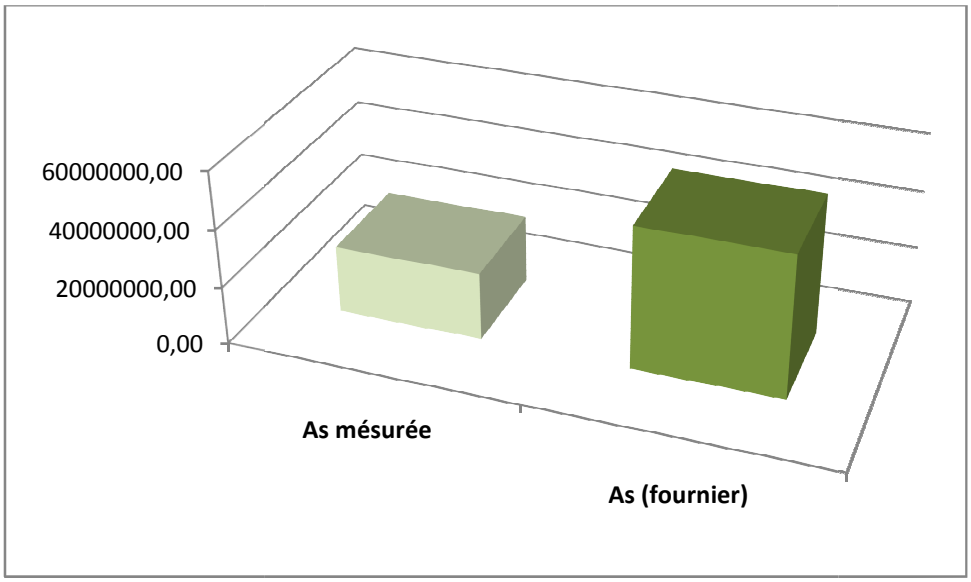


Fig. (51) Comparaison entre l'As total apprécié par formule de fournier et l'apport observée.

VI.4 Comparaison des résultats des trois formules:

Donc a la fin de ce chapitre faire une comparaison entre les résultats obtenus des trois formules utilisant dans notre travail, et les apports mesurées comme vu dans la figure ci-dessous :

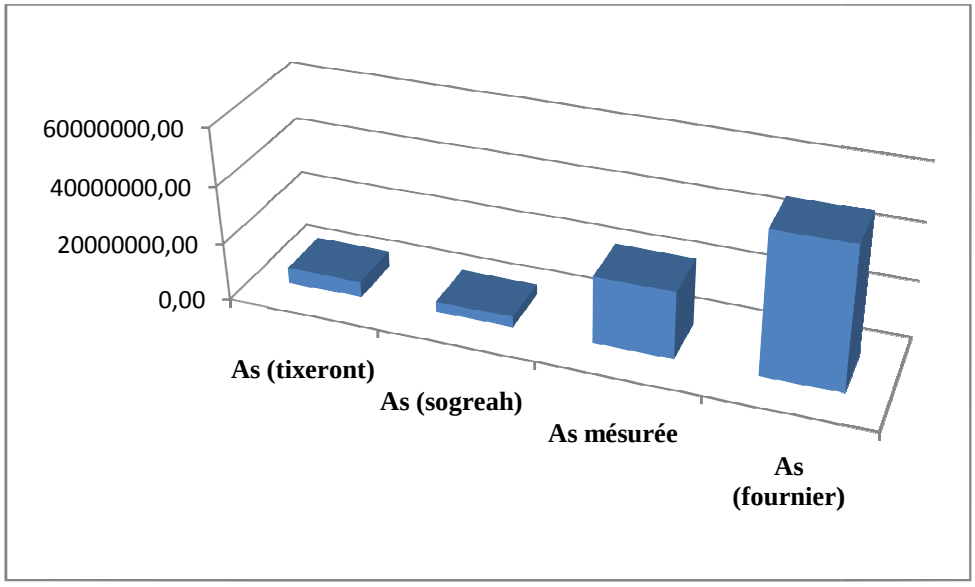


Fig. (52) Comparaison entre les formules.

D'après les résultats obtenus par les différentes formules : On remarque des écarts importants, ces derniers s'expliquent par les approches différentes utilisées par chaque auteur. Les formules surestiment ou sous-estiment l'apport solide selon le cas étudié, toutefois ; de nombreux facteurs propres aux bassins sont négligés notamment le couvert végétal et son extension, la localisation des formations érodables, la topographie. C'est pour cette raison que

nous recommandons de faire l'estimation du transport solide (*sédiments en suspension*) en se basant sur les données d'observations disponibles.

- Pour les formules de Tixeront et Sogreah notez que l'estimation est voisine pour toute la série d'observation (1986-2008), ce qui indique que les relations Sogreah sont inspirées des relations Tixeront.
- Il faut noter que les formules de types Tixeront ne sont pas assez sensibles à la variation de la pluviométrie ; ce sont surtout les coefficients, qui déterminent le résultat.

Conclusion :

Cette étude effectuée 22 ans dernière que celle ANBT, et en conséquence ayant la possibilité d'utiliser les séries d'observation plus longues). Le bassin versant est fortement problématique, on peut trouver les anomalies suivantes, déjà mentionnées dans les chapitres respectives de l'étude :

Les apports observés sont beaucoup faible (en moyenne 48%) que ceux calculée par la formule de fournier, par contre par rapport les autres formules (Tixeront et Sogreah) ; sont plus faibles (en moyenne 24% et 26% ; respectivement).

De 1993 à 2000, l'envasement périodique a atteint le maximum avec 70.4%, tout le volume des transports solides s'est accumulé durant toute cette période dans la retenue du barrage. En effet, aucune opération de vidange du fond n'a été pratiquée pour chasser la charge solide qui se dépose dans la cuvette.

En conclu que les résultats trouvés d'EMR à l'échelle annuelle pour toutes les variations de lame d'eau sont plus proche et cela peut être expliqué par la faiblesse de variation de la lame d'eau moyenne interannuelle.