

Communication pour le symposium *FI SH* sur les Bassins Représentatifs et Experimentaux, Tokyo, 2-9 Dec. 1975.

DOCUMENTATION

INFLUENCE DU MILIEU PHYSICO-CLIMATIQUE
SUR L'ÉCOULEMENT DE PETITS BASSINS INTERTROPICAUX.

par

Pierre DUBREUIL Gabriel VUILLAUME
Directeur de Recherches et Chargé de Recherches

O R S T O M

* * *

PARIS - FRANCE.

RESUME :

Les auteurs présentent les premiers résultats d'une synthèse générale de l'écoulement à partir des données recueillies sur près de 150 bassins représentatifs de l'O.R.S.T.O.M. exploités depuis 20 ans dans les régions intertropicales du globe, principalement en Afrique.

Cette étude met en évidence la cause principale de l'écoulement qui est la précipitation corrigée d'une fraction de l'évapotranspiration. Le milieu physique des bassins versants fournit ensuite des explications quant aux différences résiduelles. Les facteurs explicatifs caractéristiques du milieu sont variables avec les grandes catégories climatiques définies par les couvertures végétales naturelles : steppe, savane arbustive, savane boisée, forêt.

Selon les catégories, la mise en cultures accroît ou diminue l'écoulement annuel. Celui-ci est également influencé par la nature du chevelu hydrographique (présence ou absence de lit majeur inondable), par la superficie et la pente des bassins, enfin par la nature lithologique du sous-sol de ceux-ci.

La précision obtenue sur l'estimation de l'écoulement annuel à partir des facteurs du milieu physico-climatique est excellente en catégories steppe et forêt, moins bonne mais suffisante en savanes.

ABSTRACT :

The authors show the first conclusions of a general synthesis carried out to analyse yearly flow from about 150 representative basins managed by O.R.S.T.O.M. during the last 20 years in intertropical regions, mainly in Africa.

This study points out the principal cause of the yearly flow that is the rainfall corrected by a part of the evapotranspiration. The physical environment of the basins gives then explanations for the residual deviations. The environmental factors are different with the big climatic categories that are defined by the natural vegetative covers : steppe, savannas and forests. According to the categories, the cultivation increases or not the annual year flow. This flow is also influenced by the drainage pattern (presence or absence of flooded plains), by the catchment areas, and at least by the geological nature of subsoils.

The accuracy of the estimation of yearly flow from the environmental factors is excellent under steppe and forest conditions, lesser but sufficient under savannas conditions.

o.o.o.o

- 1 -

28 NOV 1975

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

57877 Hydr.

10. 11
1975
D. 11

71543

Une synthèse générale des connaissances acquises sur les petits bassins versants intertropicaux et semi-arides est en cours au Service Hydrologique de l'ORSTOM qui a exploité près de 150 bassins représentatifs depuis plus de 20 ans dans ces régions.

La majeure partie de l'information est extraite du recueil des données de base de ces bassins (P. DUBREUIL et als, 1972).

Dans une première étude publiée (P. DUBREUIL et als, 1975) il a été procédé à une analyse du comportement et de l'interaction des paramètres physico-morphologiques de bassins versants afin de mettre en évidence ceux qui ont une distribution normale ou assimilable et qui sont assez indépendants. Ainsi ont été finalement retenus la surface, l'indice de compacité, la dénivelée spécifique et la densité de drainage.

Pour tenter d'expliquer les disparités de l'écoulement annuel entre bassins, il nous a fallu ajouter à cette première liste d'autres paramètres susceptibles de caractériser la potentialité climatique et l'influence du sol, du sous-sol et du couvert végétal.

L'objet de cette communication est de présenter les résultats de cette recherche de l'influence du milieu physico-climatique sur l'écoulement moyen annuel de petits bassins des régions semi-arides et intertropicales. La finalité de l'étude étant de fournir un outil pratique pour estimer l'écoulement moyen d'un bassin non observé, on s'est efforcé de ne choisir que des paramètres explicatifs faciles à connaître. L'étude porte sur la gamme des superficies comprises entre 10 et 100 km², mais quelques données permettent d'étendre le domaine examiné à l'intervalle 1 à 1 000 km².

L'une des études déjà citée (DUBREUIL, 1975) ayant montrée l'excellente correspondance qu'il y avait dans cette partie du monde entre climat et végétation naturelle (climacique) les analyses ont été menées séparément au sein de quatre sous-ensembles : végétation steppique (climat semi-aride et tropical semi-aride), savane arbustive (climat tropical pur), savane arborée ou boisée (climat tropical de transition) et forêt (climat équatorial ou tropical très humide).

I - METHODOLOGIE ET PARAMETRES EXPLICATIFS.

=====

Une première tentative par analyse de regression multiple (recherche automatique des variables explicatives) n'a pas abouti à des résultats très satisfaisants. On a en effet constaté que si la majeure partie de la variance pouvait être expliquée par certains paramètres numériques le reste ne pouvait l'être qu'en considérant une classification des bassins quant à leur aptitude à l'écoulement, classification de caractère qualitative bien qu'appuyée sur d'autres paramètres numériques. On a donc finalement procédé par regression multiple graphique, en utilisant bien entendu les paramètres déjà sélectionnés. On s'est efforcé autant que possible dans les 4 sous-ensembles de conserver les mêmes paramètres explicatifs et de s'imposer des liaisons linéaires.

Nous allons présenter les résultats successifs obtenus pour ces 4 sous-ensembles en explicitant les liaisons numériques obtenues puis en montrant

le degré de précision atteint caractérisé par l'écart résiduel en % entre lame d'écoulement moyen annuel calculée et observée. On considère comme bon tout résultat aboutissant à moins de 10 % d'écart résiduel et comme satisfaisant celui qui n'excède pas 25 %. Une telle imprécision reste en effet admissible si l'on veut estimer l'écoulement moyen d'un bassin n'ayant pas fait l'objet d'observations hydrologiques. Le paramètre climatique retenu, comme première variable explicative et qui s'est révélé le plus performant après divers essais est une sorte de hauteur annuelle de précipitation réduite ou utile Pr. Elle représente la part disponible pour l'écoulement de l'apport pluvial considéré à l'échelle mensuel, la part non disponible étant sensée être représentée par l'évapotranspiration. On calcule cette pluie réduite Pr par l'équation

$$Pr = \sum_1^{12} (P_m - \frac{1}{36} ETB)$$

dans laquelle Pm est la hauteur mensuelle moyenne de pluie et ETB l'évaporation annuelle moyenne sur bac d'eau libre. Les autres paramètres numériques explicatifs retenus sont la dénivelée spécifique Ds (*), le pourcentage de cultures C, le pourcentage de terrains géologiques G, la superficie S qui interviennent tantôt directement tantôt dans la classification des bassins, laquelle prend également en compte la présence ou l'absence de lit majeur inondable et la perméabilité des sols.

II - L'ÉCOULEMENT EN REGION DE STEPPE SEMI-ARIDE.

=====

L'échantillon utilisé comprend 22 bassins répartis entre 400 et 650 mm de précipitation moyenne annuelle et situés au SENEGAL, en MAURITANIE, en HAUTE-VOLTA et au NIGER. La pluie réduite Pr y varie de 90 à 450 mm et l'écoulement moyen annuel observé Eo de 20 à 120 mm. L'équation de calcul de l'écoulement Ec est la suivante :

$$Ec = 0,15 Pr - 1,3 C - 0,37 G + A \quad (1)$$

G est ici le pourcentage de grés, sables et quartzites.

A représente la part due à l'aptitude de types de bassins numérotés de 1 à 4 et pour lesquels il vaut successivement + 135, + 90, + 55 et + 20.

Ces types sont déterminés à partir d'une matrice de correspondance entre surfaces et potentialité d'écoulement ainsi constituée.

surface	1	2
Potentialité		
1	1	2
2	2	3
3	3	4

(*) - Ds est le produit de l'indice global de pente par la racine carrée de la surface ; ce paramètre ne dépend que de la dénivelée et de la capacité du bassin.

ex : le type 2 est représenté par la correspondance de la classe 1 de surface avec la classe 2 de potentialité ou de la classe 2 de surface avec la classe 1 de potentialité.

La limite des classes de surface est 5 km².

Les classes de potentialités sont ainsi définies :

- 1 - lit mineur net, manteau d'altération ou sol peu épais, végétation naturelle clairsemée
- 2 - lit majeur actif et / ou végétation naturelle dense
- 3 - lit mineur absent, écoulement en nappe dans une dépression, endoréisme local.

Le graphique 1 montre que la précision atteinte est bonne pour 14 bassins sur 22 et satisfaisante pour tous.

On remarquera tout particulièrement :

- a) qu'un accroissement de 10 % du taux de terrains cultivés réduit de 13 mm l'écoulement ce qui s'explique par le fait que dans une telle région de steppe, toute culture (mil, sorgho ou arachide) consomme plus d'eau que le tapis de graminées recouvert de rares épineux.
- b) que l'écoulement, qui est en steppe uniquement dû au ruissellement immédiat, est d'autant moins important qu'il y a beaucoup de terrains sédimentaires ceux-ci perméables absorbant l'eau qui est ensuite perdue par évapotranspiration ; il n'en est pas ainsi des terrains cristallins imperméables sur lesquels le ruissellement est notable.
- c) que la dégradation du chevelu hydrographique très nette à partir de 5 km² de bassin pèse d'un poids élevée dans l'explication de l'écoulement (115 mm entre les types 1 et 4 de bassins).

III - L'ÉCOULEMENT EN REGION DE SAVANE ARBUSTIVE.

=====
On trouve ici 41 bassins recevant de 700 à 1 150 mm de pluie annuelle moyenne et donc l'écoulement correspondant s'étale entre 10 et 250 mm. Ces bassins sont situés pour une part dans le nord de la Côte d'Ivoire, du TOGO et du CAMEROUN, au sud du NIGER et de la HAUTE-VOLTA, au TCHAD et pour une autre part dans le nord-est du BRESIL.

C'est une zone climacique très délicate à appréhender dans laquelle le rôle des sols est prioritaire et difficile à quantifier. La précision de l'estimation de l'écoulement en est donc réduite ; seulement 60 % des résultats sont dans l'intervalle ± 25 %.

Les paramètres explicatifs changent par rapport à la steppe :

- la superficie drainée S est un terme réducteur régulier et non plus seulement lié à la dégradation hydrographique (au-delà de 5 km²)

- les cultures semblent consommer autant que la végétation naturelle s'il s'agit de cultures sèches traditionnelles et n'apparaissent donc plus comme paramètre explicatif ; mais elles consommeraient plus s'il s'agissait de cultures spéciales telles que l'arboriculture fruitière irriguée.

- la pente Ds devient un facteur positif de l'écoulement.

L'équation d'estimation de l'écoulement annuel est la suivante :

$$Ec = 0,47 Pr - 33 \log S + 0,54 Ds + A \quad (2)$$

On remarquera que la pente de l'effet de la pluie utile annuelle Pr est passée de 0,15 en steppe à 0,47 ici.

Une forte part de la dispersion ne peut-être expliquée que par le terme A d'aptitude.

C'est ici un terme bien complexe à expliciter. Il est égal :

- soit à - 35 mm pour des bassins à lit mineur net sur terrains granitiques imperméables (roche affleurante, glacis de piémont ...)
- soit à - 85 mm pour des bassins à lit mineur net sur terrains granitiques perméables (arènes sableuses ou sols ferrugineux tropicaux, jaunes ou rouges, assez épais et à rétention notable), sur schistes et grés.
- soit à - 55 mm et - 105 mm si les bassins des deux classes précédentes ont des lits majeurs actifs
- soit à - 185 mm si les dits bassins ont des dépressions en guise de thalwegs (pas de lit mineur).

Il subsiste encore dans cette zone de savane arbustive correspondant au climat tropical pur beaucoup de comportement inexplicables dépendant de la nature des sols et altérations.

IV - L'ÉCOULEMENT EN RÉGION DE SAVANE BOISÉE OU ARBOREE.

=====

Cette région devient plus homogène avec l'accroissement des précipitations et l'importance du couvert végétal naturel.

L'échantillon est d'ailleurs copieux : 52 bassins répartis entre de nombreux pays : MALI, CÔTE D'IVOIRE, HAUTE-VOLTA, TOGO, DAHOMEY, CAMEROUN, CENTRE AFRIQUE, MADAGASCAR et RWANDA.

La pluviosité annuelle moyenne s'inscrit entre 900 et 1 800 mm tandis que l'écoulement conséquent observé varie de 100 à 770 mm.

L'équation d'estimation de cet écoulement est la suivante :

$$Ec = 0,47 Pr + 1,5 C + (a Ds + b) + A \quad (3)$$

On y retrouve une influence de la pluviosité volontairement choisie égale à celle prise en compte en savane arbustive (équation 2). Par un processus évolutif logique, les cultures consomment maintenant moins que la végétation naturelle (mil, sorgho, manioc, coton etc ... ont une évapotranspiration moindre que celle d'arbres et de hautes graminées).

L'influence positive de la pente est variable selon l'aptitude des bassins :

- importante pour des bassins à végétation clairsemée, soumise aux feux de brousse ou sur cuirasses latéritiques

$$a Ds + b = 1,78 Ds - 50$$

- modérée pour des bassins à végétation dense, à marécages, ou sols sableux ; arènes, éboulis ... (a Ds + b = 1,20 Ds - 175).

Le paramètre A rend ici simplement compte d'une classification selon la surface drainée :

- + 175 mm si elle est inférieure à 5 km².
- + 50 mm si elle est comprise entre 5 et 25 km².
- 75 mm si elle est supérieure à 25 km².

Les résultats sont satisfaisants : 90 % d'entre eux sont dans l'intervalle ± 25 % (voir figure 2).

V - L'ÉCOULEMENT EN RÉGION FORESTIÈRE.

L'échantillon utilisé - 13 bassins - est assez faible. Il ne contient que des bassins de la zone équatoriale africaine (Cote d'Ivoire, Cameroun, Gabon) et de la Guyane (forêt pré-amazonienne).

Ce que l'on peut en déduire ne peut donc concerner que ces régions. En particulier les forêts tropicales humides soumises à cyclones (Antilles et Nouvelle Calédonie) n'ont pas été prises en compte ici.

L'équation d'estimation de l'écoulement moyen annuel s'écrit :

$$Ec = 1,05 Pr + 0,92 Ds - 960. \quad (4)$$

Tous les résultats sont inscrits dans une gamme de ± 10 %, très satisfaisante. (voir figure 3).

En réalité, la forêt climacique correspondant à des pluviosités élevées (1 200 à 4 200 mm ici), le facteur dominant, la précipitation corrigée de l'évapotranspiration, qui est presque tout le temps satisfaite selon sa demande potentielle, écrase tous les autres dans l'explication de l'écoulement annuel.

Ainsi ni le substratum, ce qui pouvait être prévisible, ni le pourcentage de mise en cultures - variable dans l'échantillon - ni le type de cultures - vivrières ou industrielles telles que café ou cacao - n'a d'effet décelable. Le relief seul intervient mais son influence maximale reste limitée à

200 mm entre bassins peu et très accidentés. Or 200 mm c'est peu en regard d'un écoulement moyen qui aux exceptions près dépasse 400 et même 1 000 mm.

L'abondance annuelle de l'écoulement est ici entièrement dépendant de la pluviosité alors que le rôle du milieu physique était notable et même dominant lorsque les végétations climaciques sont moins "couvrantes" - savanes ou steppes.

VI - CONCLUSION.

=====

Dans cette communication au cadre limité, il n'a pas été possible de développer les interprétations que l'on peut donner de la présence de tel ou tel facteur explicatif, ni de montrer pourquoi tel ou tel bassin n'obéissait pas bien au système général d'équation proposé.

On se contente d'ici de résumer brièvement quelques remarques essentielles :

- a) la présence de cultures influe la potentialité d'écoulement des bassins dans un sens variable selon que celles-ci consomment plus ou moins d'eau que la végétation climacique
- b) le relief est un facteur d'accroissement de l'écoulement partout effectif sauf en steppe (l'échantillon n'y présentait pas de bassins à fortes pentes) ; son rôle est relativement plus important dans les régions sèches puisque sur la gamme de variation du paramètre D_s l'effet maximal possible correspond seulement à 20 % de l'écoulement moyen de l'échantillon en forêt, mais à 60 % en savane boisée et à plus de 100 % en savane arbustive.
- c) la surface est présente partout, ou presque, avec une action négative sur l'écoulement à peu près identique à l'action positive du relief, si l'on fait la comparaison en termes relatifs sur l'étendue de variation des paramètres et vis-à-vis de l'écoulement moyen des échantillons.

L'influence maximale de la surface - entre 1 et 1 000 km² - est en effet de l'ordre de 60 % de l'écoulement moyen de l'échantillon "savane boisée", de 100 % de l'écoulement moyen de celui de "savane arbustive" et de 75 % de l'écoulement moyen de l'échantillon de "steppe".

- d) enfin il faut bien reconnaître que l'effet non négligeable du sol, du sous-sol, de la géomorphologie ... etc... reste difficile à appréhender.

- alors que la nature géologique du substratum intervient en steppe semi-aride parce que généralement les roches affleurent ou que leur revêtement d'altération est peu important, c'est celui-ci dont l'importance prime en savanes. La méconnaissance de l'effet exact sur l'écoulement des divers types de sols rend difficile une explication autre que qualitative, par le biais de classes d'aptitudes. La structure du réseau de drainage, témoin de la géomorphologie du bassin (sols, végétation, pentes ...) intervient pour faciliter la définition de ces classes d'aptitude : dégradation en région semi-aride, présence de zones inondables, disparition du lit mineur ... etc ...

Dans les régions de steppe et de savanes, la différence maximale d'écoulement moyen annuel entre bassins de meilleure et de plus mauvaise aptitude représente au moins l'influence maximale du relief et de la surface sur toute leur étendue de variation.

* * *
*

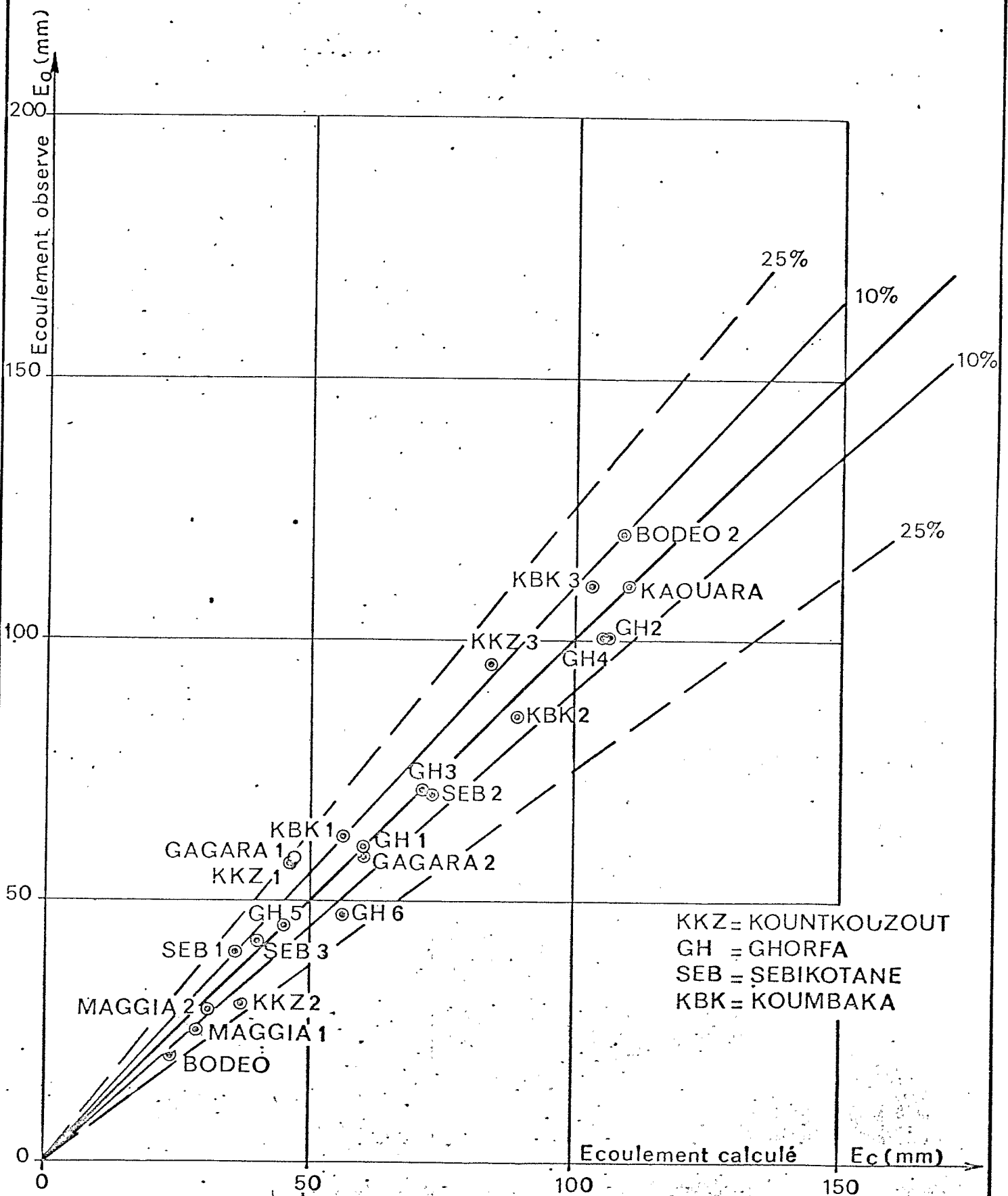
L'étude de synthèse des bassins représentatifs de l' O.R.S.T.O.M. se poursuit. Cette communication n'en présente qu'un aspect. D'autres résultats concernant la variabilité de l'écoulement moyen et les caractéristiques des crues feront l'objet de prochaines publications.

Les équations de l'écoulement présentées ici ne peuvent être considérées ni comme définitives ni comme universelles. Des compléments ou de légères modifications vont leur être apportés. Telles qu'elles sont néanmoins, on a vu qu'elles permettaient une estimation à + 25 % de l'écoulement moyen annuel d'un bassin non observé. Cette estimation ne peut prétendre à cette précision que ~~ici~~ elle porte sur un bassin situé dans des conditions physico-climatiques comparables à celles rencontrées dans les bassins analysés et si le choix de la classe d'aptitude est fait sans erreur après une visite de terrain de préférence.

Références bibliographiques :

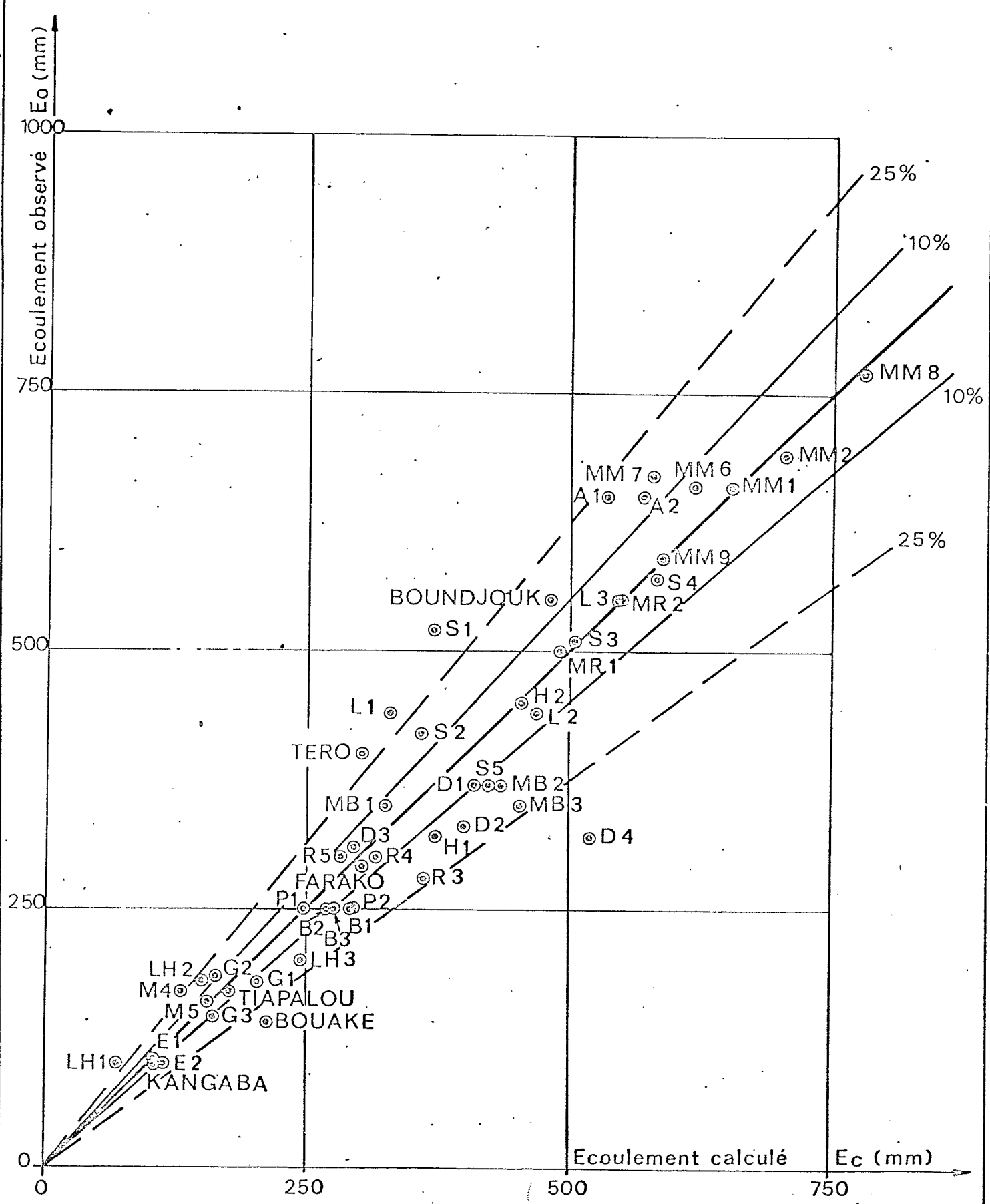
P. DUBREUIL et als. (1972) - Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux de l'ORSTOM 1951 - 1969
ORSTOM Ed. PARIS. 916 p.

P. DUBREUIL, M. MORELL,
et P. SECHET (1975) - Comportement et interaction des paramètres physiques de petits bassins versants semi-arides et intertropicaux.
Cah. ORSTOM Sér. Hydrologie. Vol XII n° 2.



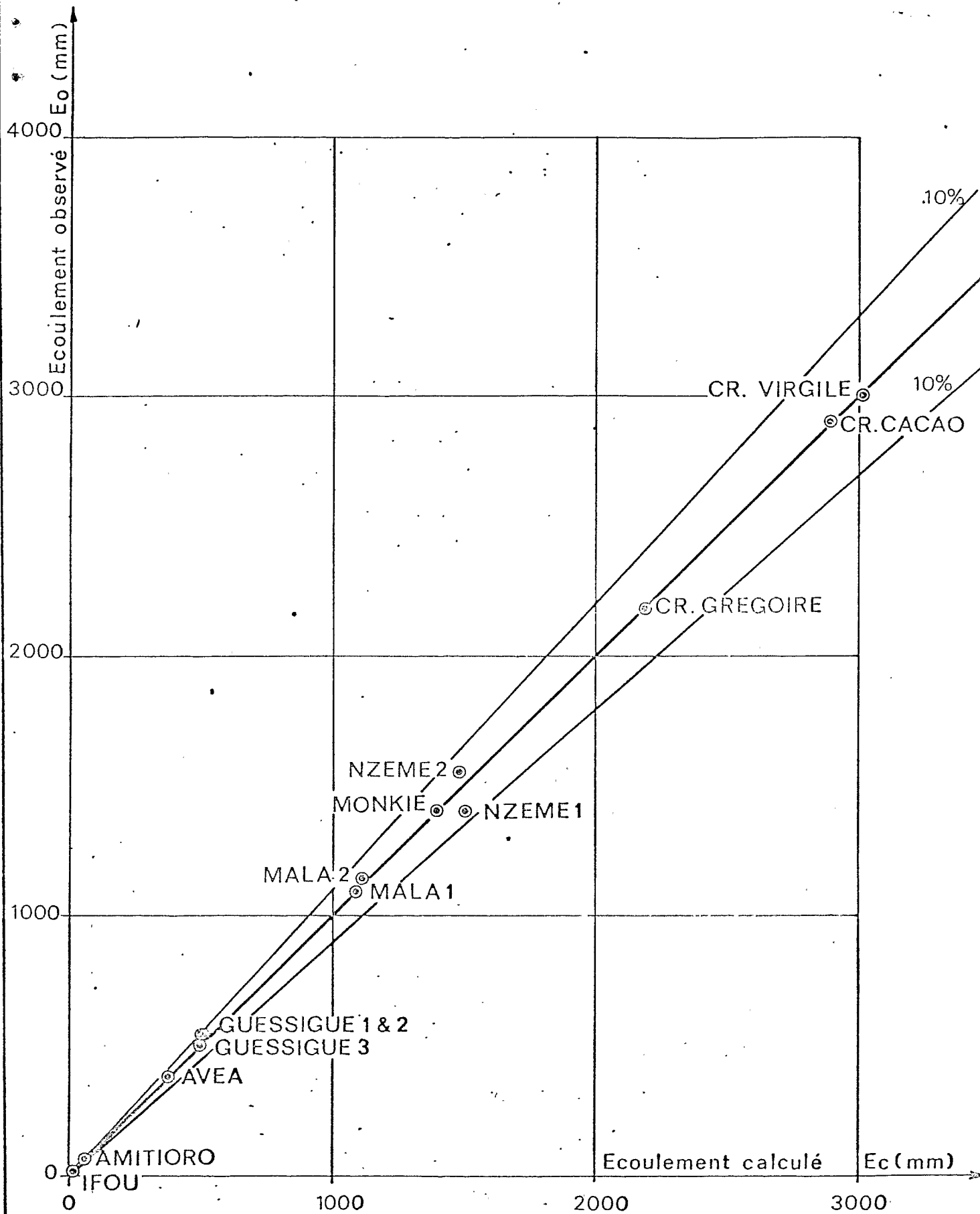
GR - 1

PRECISION DE L'ESTIMATION DE L'ECOULEMENT MOYEN ANNUEL EN REGION DE STEPPE SEMI-ARIDE



- | | | | | | |
|----|-------------|----|--------------|---|-------------|
| LH | LHOTO | D | DOUNI | A | ANDROVAKELY |
| E | LAC ELIA | MR | MAYO REM | B | BYUMBA |
| H | HIDENWOU | MB | MAYO BOME | G | GITARAMA |
| L | LOSERIGUE | R | RISSO | M | MANGA |
| P | PONONDOUGOU | MM | MIFI-METCHIE | | |

Precision de l'estimation de l'écoulement moyen annuel en région de savane
 boisée ou arborée
 G.R.2.



Précision de l'estimation de l'écoulement moyen annuel en forêt

G-R-3