

A. CHOURET *

Application de la méthode de dilution (Jaugeages chimiques) sur les rivières de Madagascar

Les premiers essais d'application de la méthode chimique de dilution ont débuté à Madagascar en 1966.

Le peu de matériel dont nous disposions à cette époque ne permit que quelques mesures sur des rivières de type torrent de montagne et de faible débit, c'est-à-dire des cas d'application classique de la méthode de jaugeage chimique.

En février et mars 1967, une mission E.D.F. de la Division Technique Générale de Grenoble séjourna à Madagascar et y amena un lot important de matériel de laboratoire et de bichromate de sodium qui resta sur place.

Le but principal des études était de tenter l'extension de cette méthode aux jaugeages de plusieurs centaines ou milliers de m³/s sur des rivières très chargées en matériaux en suspension.

Les travaux furent menés en collaboration avec la Section Hydrologique du Centre O.R.S.T.O.M. de Tananarive.

Les premiers résultats, déjà encourageants, obtenus lors de la mission E.D.F. furent améliorés et complétés par de nouvelles séries de mesures pendant les saisons des pluies 1967-68 et 1968-69.

Cette note présente les difficultés rencontrées, les solutions apportées et les résultats obtenus.

* Chargé de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Nous n'entrerons pas ici dans le détail de la méthode ni dans ses développements mathématiques. Des exposés complets sont donnés dans « La Houille Blanche » n° 5-1952, 1 et 3-1953 et B décembre 1960, ainsi que dans la brochure « Hydrométrie pratique des cours d'eau - Jaugeages par la méthode de dilution » de H. ANDRÉ.

Rappelons simplement que le traceur le plus couramment employé est le bichromate de sodium. Le principe général de la méthode chimique consiste en l'injection dans la rivière d'une solution concentrée de ce sel. On recherche ensuite dans quelle proportion cette solution a été diluée par la rivière. Cette dilution est fonction du débit et dans certaines conditions, il est possible d'obtenir une relation linéaire entre le débit Q de la rivière et le rapport C_1/C_2 de la concentration C_1 de la solution injectée à la concentration C_2 d'échantillons prélevés à l'aval du point d'injection.

$$Q = K \left(\frac{C_1}{C_2} \right)$$

K est un coefficient caractéristique du procédé et du matériel utilisé.

Il existe deux procédés d'injection :

a) Injection d'un débit constant et parfaitement connu q d'une solution de bichromate de sodium à la concentration C_1 pendant un temps suffisant pour obtenir un palier de concentration C_2 (régime permanent) à la section de prélèvement.

On a
$$Q = q \left(\frac{C_1}{C_2} \right)$$

b) Procédé par intégration (ou méthode globale) : injection de façon quelconque d'un volume V de solution de sel à la concentration C_1 et prélèvement à l'aval pendant tout le temps de passage du nuage salin.

Si C_2 est la concentration moyenne des n échantillons prélevés pendant le temps T de passage du sel, c_2 la concentration à un instant quelconque de cette durée et Q le débit de la rivière, on peut écrire :

$$V C_1 = Q T C_2 = Q T \int_0^T c_2 dt / T$$

et

$$Q = \frac{V C_1}{\int_0^T c_2 dt}$$

Cette équation n'est valable que si le terme $\int_0^T c_2 dt$ est le même pour tous les points de la section de prélèvement.

Dans le procédé par injection à débit constant, si le brassage est parfait, la concentration est la même en tous les points de la section de prélèvement pendant la durée du régime permanent.

Dans le cas du procédé par intégration, le brassage est considéré comme bon si le terme $\int_0^T c_2 dt$ est constant quel que soit le point de prélèvement choisi dans cette section.

Enfin, il est nécessaire que tout le bichromate injecté passe au point de prélèvement dans le cas du procédé global, tandis que dans la méthode par injection à débit constant il suffit d'avoir conservation de la matière pendant la durée du régime permanent.

Ces conditions sont fondamentales pour l'application de la méthode. Si ces différentes hypothèses sont facilement vérifiées dans les cas classiques d'application de la méthode chimique (ex. torrents de montagne), il n'en est pas de même lorsque l'on veut étendre cette méthode de jaugeage à de forts débits en rivières de plaine ou en eaux très chargées en matières en suspension (ex. Le Mangoro à la station de la Gare ou la Betsiboka à Ambodiroka pour Madagascar).

MODE OPÉRATOIRE SUR LE TERRAIN

Tout premier jaugeage chimique sur une rivière doit être précédé d'une reconnaissance minutieuse pour le choix d'un tronçon de mesure, l'estimation de la distance de bon mélange, l'évaluation du débit pour le calcul du poids de bichromate à injecter et celle des temps d'arrivée et de passage du nuage salin.

Ces opérations sont facilement réalisables pour des rivières du type torrent de montagne. Le brassage y est violent, les eaux très claires et un essai à la fluorescéine permet de connaître rapidement les différents temps de propagation de la solution injectée.

Sur le Mangoro et la Betsiboka d'autres méthodes ont dû être utilisées.

A. — RECONNAISSANCE ET CHOIX DU TRONÇON DE MESURE.

1. - Sur la carte : première connaissance de la rivière — absence d'affluents entre injection et prélèvement — nombre de méandres ou de rapides pouvant faciliter le brassage.

2. - Sur le terrain : descente ou remontée de la rivière en canot ou à pied. Dans le cas d'une rivière de plaine (ex. le Mangoro-Gare) on doit rechercher au moins deux méandres de sens contraire qui faciliteront le brassage latéral. L'injection et le prélèvement doivent être faits dans des zones de vitesse.

Dans le cas de la Betsiboka à Ambodiroka, la présence de rapides et de chutes importantes assure un violent brassage et permet de mieux estimer la distance du tronçon de mesure. Les distances retenues dans les deux cas sont de 3 km.

B. — DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE LA DISTANCE DE BON MÉLANGE, DES TEMPS D'ARRIVÉE ET DE PASSAGE D'UNE INJECTION INSTANTANÉE.

Les essais de coloration de fluorescéine sont inefficaces même sur une rivière relativement claire comme le Mangoro en étiage. Une approximation du temps d'arrivée peut être donnée par des essais aux flotteurs (bouteilles plastiques lestées et portant un fanion de couleur, bouchons, bidons, etc.).

Seul, le premier flotteur arrivant au point de prélèvement est retenu. L'estimation n'est valable qu'à $\pm 30\%$. Le temps de passage, par mesure de sécurité, est pris comme double du temps d'arrivée.

Diverses formules (HULL, RIMMAR, PEREZ) peuvent également donner une idée de la distance de bon mélange.

Les premières mesures sont toujours effectuées par tâtonnements.

Ce n'est que l'analyse au laboratoire (test au réactif) des échantillons prélevés qui permet de déterminer les temps d'arrivée et les temps de passage. Nous verrons plus loin que si l'arrivée du bichromate est toujours bien nette, sa disparition par contre est difficile à préciser. Souvent les temps de passage sont sous-estimés ce qui entraîne une surestimation de la valeur du débit.

Lorsque plusieurs jaugeages ont été exécutés sur un cours d'eau, on peut tracer des courbes de l'évolution du temps d'arrivée et du temps de passage en fonction du débit.

De même la distance de bon mélange ne peut vraiment être connue que par l'analyse des échantillons. Pour le Mangoro et la Betsiboka, cette distance a été trouvée dès les premières mesures grâce à l'expérience en la matière des hydrologues de la mission E.D.F.

La vérification de cette distance est effectuée au moyen de prélèvements sur toute la section, pendant la durée du régime permanent, dans le cas d'une injection à débit constant. A l'analyse, ces échantillons doivent tous être à la même concentration.

Dans le cas d'une injection globale, il est nécessaire de prélever en R.D. et en R.G. pour les premiers essais.

C. — CHOIX DU PROCÉDÉ : INJECTION ET PRÉLÈVEMENT.

Le procédé d'injection à débit constant est le plus long à mettre en œuvre sur le terrain et nécessite souvent un portage.

Cependant, lors des premiers essais, il est préférable de l'utiliser, ce qui permet un meilleur contrôle du brassage. C'est ce qui a été fait sur le Mangoro et la Betsiboka. Puis tous les autres jaugages ont été réalisés par la méthode globale. Cette méthode présente l'avantage d'être plus facilement mise en œuvre et requiert une quantité moindre de bichromate. En outre, le prélèvement s'effectue sur une seule rive en un même point ; d'où l'inutilité d'un canot pour effectuer les prélèvements au milieu de la rivière et sur les deux rives.

Dans les deux procédés, le débit de la rivière doit être préalablement estimé ou bien évalué d'après la courbe d'étalonnage, afin de déterminer la quantité de colorant à mettre en jeu.

Le poids de sel à dissoudre pour l'injection est calculé par :

$$P = Q (T + T') C_2$$

- T temps de passage du nuage salin.
- T' temps d'injection (en général négligeable).
- C_2 concentration moyenne souhaitée des échantillons prélevés.

On ajuste le poids du bichromate de sodium selon que l'analyse au laboratoire sera conduite directement, ou que l'on envisage une reconcentration de 10 à 40 fois.

Des reconcentrations de l'ordre de 10 ou 20 fois sont couramment pratiquées et ne demandent qu'une plus grande minutie de la part des opérateurs. Ainsi, un débit de près de 2 000 m³/s a pu être jaugé avec seulement 150 kg de sel grâce à une reconcentration de 10 fois. Tous les jaugages effectués sur le Mangoro et la Betsiboka ont été reconcentrés 10 ou 20 fois.

Plusieurs procédés de prélèvement et ensuite de dépouillement sont exposés dans les ouvrages cités en annexe bibliographique.

Pour différentes raisons (insuffisance de matériel, commodité des opérations de terrain ou de laboratoire de brousse, etc.), nous avons choisi la méthode de l'échantillon moyen réalisé à partir des échantillons prélevés à des intervalles de temps égaux et contenant du bichromate. Les prélèvements doivent commencer avant l'heure d'arrivée du traceur et continuer pendant un temps supérieur au temps de passage estimé.

Le débit sera calculé par la formule :

$$Q = \frac{V}{T Cr}$$

- V volume de la solution de sel injecté (déterminé sur le terrain).
- T temps de passage (estimé sur le terrain, puis déterminé avec précision au laboratoire).
- Cr concentration relative de l'échantillon moyen (calculée au cours du dépouillement) = inverse de la dilution.

Nous voyons donc que le volume injecté doit être connu avec précision. Les cuves d'injection de 200 l de contenance maximale (fûts d'essence) seront soigneusement étalonnées avant emploi. On peut arriver ainsi à une précision de l'ordre du litre.

Le mélange dans la solution demande à être parfaitement homogène, d'où brassage énergique ou mieux recyclage complet du contenu de la cuve.

L'injection est effectuée de façon quelconque en prenant bien soin de rincer soigneusement la cuve pour que tout le volume soit réellement versé dans la rivière. Un échantillon de cette solution mère sera ramené au laboratoire.

Les prélèvements sont effectués dans des flacons plastiques de 500 cm³ : cette quantité est nécessaire pour les opérations préliminaires de dépouillement. Ils doivent être au minimum au nombre de 20 à 30.

ANALYSE AU LABORATOIRE

Le principe de l'analyse est le suivant : on compare les échantillons prélevés à des dilutions connues de la solution injectée réalisées avec l'eau de la rivière prélevée avant toute injection. Cette comparaison est faite à l'aide d'un colorimètre à cellules photo-électriques.

Mais, si les mesures sur le terrain sont rapides, une fois les opérations préliminaires terminées, par contre le dépouillement au laboratoire est toujours très long et minutieux.

Certaines difficultés rencontrées lors de la mission E.D.F ont été résolues dans les laboratoires de Grenoble, en particulier les cas des eaux troubles ou très chargées en particules argileuses.

A. — RÉDUCTION DU BICHROMATE.

Lors des premiers essais sur le Mangoro et la Betsiboka, on a noté une disparition apparente du bichromate dans les eaux turbides. La réduction du bichromate se traduit par la transformation des ions Cr^{+6} en ions Cr^{+3} qui ne sont plus décelables à l'analyse colorimétrique avec le réactif utilisé.

Pour remédier à ce danger, il faut obligatoirement réaliser les dilutions témoins en *même temps* que le prélèvement. Ainsi dilutions et échantillons évoluent d'une façon identique (méthode de zéro). Pour l'Outre-Mer, cela représente souvent un ennui sérieux, car il faut disposer au sein de l'équipe d'un ou deux aides parfaitement sérieux et capables d'effectuer l'injection et le prélèvement pendant que l'opérateur principal réalise la gamme de dilutions. Il existe des moyens de réoxydation par le permanganate de potassium et l'azoture de sodium, mais cela est long et difficile à réaliser en brousse.

A notre avis, un jaugeage chimique gagne à être dépouillé le plus rapidement possible. D'où la nécessité de disposer sur le terrain d'un petit laboratoire sommaire ou d'un véhicule aménagé à cet effet. Il est alors indispensable de disposer d'eau à volonté pour le rinçage et lavage de toute la verrerie. De même, un petit groupe électrogène portatif (type Honda 250 W 220 V alternatif 12 V continu) est un appareil obligatoire pour le fonctionnement du colorimètre.

Pour la réalisation des dilutions-témoins sur le terrain nous avons préféré employer les classiques fioles jaugées et pipettes au lieu de la micro-burette AGLA qui nous a paru d'un emploi plus long et plus risqué dans les conditions de travail en brousse.

B. — CLARIFICATION DES EAUX.

Les eaux du Mangoro, même en crue, sont encore relativement assez claires et peuvent être filtrées sans grand problème. Par contre, les eaux « chocolat » de la Betsiboka colmatent aussitôt les filtres. La filtration de 200 cm³ d'échantillon demande entre 15 et 30 minutes. Un procédé de clarification mis au point à Grenoble donne d'excellents résultats : il s'agit de la floculation par le silicate de soude ($\text{SiO}_2 \text{Na}_2$) et le sulfate d'alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Les eaux de la Betsiboka ainsi traitées puis décantées pendant plusieurs heures deviennent absolument limpides. La concentration en chrome de la partie clarifiée n'est pas modifiée.

La floculation et la décantation des dilutions-témoins et des échantillons doivent s'effectuer dans des récipients identiques. Pour éviter la remise en suspension du dépôt, il est préférable de verser l'eau claire délicatement dans un becher au lieu de la « pipeter » directement.

C. — TEST AU RÉACTIF.

Le test au réactif (suivi de la reconcentration) des échantillons extrêmes permet de déterminer ensuite l'arrivée et la disparition du traceur. Nous verrons que si l'arrivée du bichromate est toujours très nette, sa disparition l'est souvent moins et conduit à une sous-estimation importante du temps de passage. Les prélèvements utiles sont alors conservés et un volume égal de chacun d'eux servira à constituer l'échantillon moyen.

D. — SUITE DE L'ANALYSE DE DÉTERMINATION PRÉCISE DU TEMPS DE PASSAGE.

1. Analyse classique

On procède alors à la préparation des ampoules à décantation pour la suite de l'analyse et la reconcentration. Cette dernière technique met en œuvre l'action de l'alcool butylique, solvant qui extrait le complexe coloré bichromate de sodium-diphénylcarbazine (réactif du chrome) de l'échantillon eau rivière - traceur.

Cette opération s'effectue dans des ampoules à décantation en milieu acide et saturé en chlorure de sodium. Le complexe coloré recueilli dans un tube à essai est ensuite analysable au colorimètre. Cela permet sur le terrain une diminution considérable du poids de sel qu'il serait nécessaire d'injecter afin d'obtenir une concentration de l'échantillon suffisante pour être directement analysée (c'est-à-dire, coloration visible à l'œil nu après simple action du réactif, environ 0,5 à 1 mg/l). L'ordre de grandeur de la reconcentration est déterminé par le rapport du volume v d'alcool butylique au volume V de l'échantillon traité dans l'ampoule.

Les manipulations sont longues et très minutieuses (cf. Rapport mission E.D.F. à Madagascar).

Dans la pratique, on doit analyser une gamme de 4 à 5 dilutions-témoins qui encadrent la valeur attendue de la dilution moyenne réalisée par la rivière à partir de la solution-mère injectée — plus un échantillon « blanc » réalisé à partir de l'eau de la rivière prise au point de prélèvement avant toute injection — enfin, l'échantillon moyen.

Après analyse colorimétrique, nous avons la concentration relative Cr de l'échantillon moyen et le test au réactif nous a déjà renseigné sur le temps de passage T .

Nous connaissons également le volume V de solution-mère injectée. Donc nous obtenons le débit grâce à :

$$Q = \frac{V}{T Cr}$$

Or les premiers jaugeages chimiques dépouillés par cette méthode ont tous donné des résultats en général beaucoup trop élevés par rapport à la courbe d'étalonnage ou à des mesures de référence au moulinet. Et cela malgré toutes les précautions les plus minutieuses prises lors des opérations sur le terrain ou au cours de l'analyse au laboratoire : dilutions réalisées pendant le prélèvement et donnant une courbe de réponse du colorimètre correcte, dépouillement suivant de peu la mesure sur le terrain, grande minutie apportée lors des opérations de reconcentration, etc.

D'où pouvaient provenir ces causes d'échec? Nous avons vu que le volume de la solution injectée était déterminé au litre près ; les dilutions réalisées pendant le prélèvement éliminent donc les risques de réduction de bichromate et donnent une courbe de réponse du colorimètre correcte qui permet de définir sans ambiguïté la concentration relative de l'échantillon moyen. L'erreur ne peut venir, pensons-nous, que de la méconnaissance du temps de passage du nuage salin.

2. Détermination exacte du temps de passage du nuage salin.

La durée « approchée » du temps de passage n'est connue qu'après le test au réactif des premiers et derniers échantillons prélevés, jusqu'à ce que l'on discerne l'arrivée et la disparition du bichromate. Mais, comme nous l'avons déjà signalé, si l'arrivée du traceur est nette, par contre, sa disparition est toujours incertaine. En effet, les jaugeages chimiques effectués à Madagascar, sur de grandes rivières ou des fleuves, exigent toujours et obligatoirement une reconcentration de 10 ou 20 fois si l'on ne veut pas en arriver à l'injection d'une tonne de sel. Donc, les derniers échantillons du prélèvement, qui semblent « être blancs » après reconcentration et test au réactif, contiennent en fait encore du bichromate mais qui n'est plus décelable à l'analyse. Cela conduit à une sous-estimation parfois importante du temps de passage réel et donc à un débit trop fort.

Signalons à ce sujet que l'emploi du spectrophotomètre, JEAN et CONSTANT serait préférable au colorimètre JOBIN et YVON pour l'analyse des échantillons extrêmes. En effet, la sensibilité de ce dernier appareil est mauvaise pour les échantillons très peu concentrés.

Dans le cas d'un jaugeage chimique classique (torrent alpestre, rivière de l'est de la Réunion) où le temps de passage est facilement connu, le dépouillement se fait souvent par planimétrage de la surface déterminée par la courbe représentant l'évolution de la concentration en fonction du temps au point de prélèvement. Cela suppose évidemment que le nombre d'échantillons à analyser est faible (voisin de 20) et qu'il est inutile de reconcentrer.

Nous avons tenté d'appliquer ce mode de dépouillement aux cas des jaugeages chimiques sur les fleuves de Madagascar. Si l'on veut parvenir à un emploi pratique de cette méthode, il n'est évidemment pas question de reconcentrer puis d'analyser systématiquement la trentaine ou plus d'échantillons fréquemment prélevés, mais de se contenter de déterminer l'allure de la partie décroissante de la courbe $C = f(t)$.

Des essais effectués sur le Mangoro et la Betsiboka ont montré que cette courbe demande à être prolongée bien au-delà du dernier échantillon qui apparaît comme « blanc » après le test au réactif et la reconcentration.

Pour déterminer la durée réelle du passage du nuage salin, nous avons adopté le *mode opératoire suivant*:

En plus de l'analyse de la gamme des dilutions-témoins, de l'échantillon moyen et du « blanc », il convient de traiter également 6 ou 7 échantillons de la fin du prélèvement.

Parmi ces derniers, on tiendra compte non seulement de ceux qui contiennent encore du bichromate, mais aussi d'au moins deux ou trois autres qui, apparemment, sont « blancs ».

Toutes les ampoules ainsi préparées sont traitées de façon identique.

Les lectures correspondantes aux derniers échantillons permettent de tracer la partie décroissante de la courbe $C = f(t)$. En effet, tous les prélèvements sont effectués à des temps connus. Cette courbe est prolongée jusqu'à son intersection avec l'axe des temps. Mais on peut objecter que cela est trop empirique ou même « sentimental ». Il est donc préférable de reporter sur graphique semi-logarithmique les *valeurs des lectures des derniers échantillons sur l'échelle logarithmique et les temps sur l'abscisse arithmétique*.

La droite est prolongée jusqu'à son intersection avec l'ordonnée correspondant à la lecture de l'échantillon blanc.

Nous obtenons alors le temps exact de passage du nuage salin.

Les graphiques présentés dans cette note illustrent cette méthode de dépouillement.

REMARQUE SUR LA VARIATION DE LA COTE A L'ÉCHELLE PENDANT LE JAUGEAGE CHIMIQUE

Dans le cas de la Betsiboka, l'injection a lieu au niveau de l'échelle limnimétrique et le prélèvement se fait à la traîlle, environ 3 km à l'aval.

Pour des cotes de l'ordre de 2 m (débit voisin de 1 200 m³/s) par exemple, les temps d'arrivée sont d'environ 15 minutes et tout le traceur passe en 20 minutes à la section de prélèvement.

Il nous semble juste de ne considérer que la cote à l'échelle au moment de l'injection et non une cote moyennée entre la fin et le début de la mesure.

En effet, l'injection est très rapide et le brassage presque immédiat. Si la cote varie au cours de la mesure, cette augmentation ou diminution de débit n'intervient plus dans le brassage et n'est pas encore ressentie au point de prélèvement. La vitesse de propagation de la crue est nettement inférieure à la vitesse d'arrivée du nuage salin.

Il en est de même pour le Mangoro. Toutes les hauteurs portées sur les feuilles de jaugeages correspondent à la cote lue au moment de l'injection.

RÉSULTATS OBTENUS

1. Le Mangoro à Mangoro-Gare.

Le bassin versant est de 3 600 km². La rivière est calme mais offre de nombreux méandres assez prononcés et une barre rocheuse qui améliorent le brassage. Les eaux sont peu chargées et en étiage les échantillons peuvent être analysés sans filtration ni floculation.

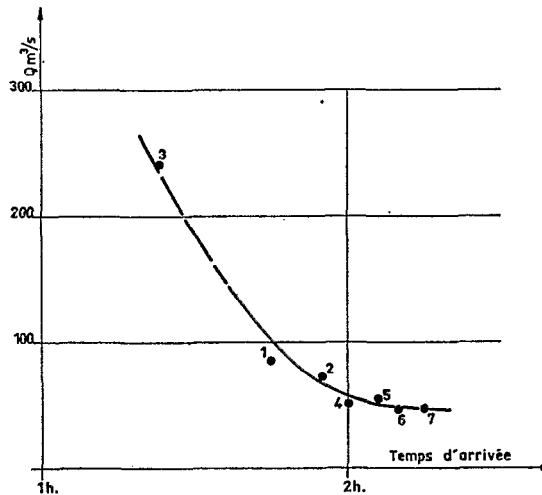


FIG. 1. — Le Mangoro à Mangoro-Gare :
(Temps d'arrivée en fonction du débit (distance entre l'injection et le prélèvement : 3 km.)

Seuls, 7 jaugeages ont été réalisés. Les premiers ont donné des résultats trop forts dus à la sous-estimation du temps de passage. Les dilutions sont faites sur place, le dépouillement au laboratoire de Tananarive.

Les quatre derniers jaugeages ont été dépouillés suivant le processus cité plus haut. Ils ont donné de bons résultats, malheureusement tous en basses-eaux. Ces mesures doivent être poursuivies en saison pluvieuse.

Un autre jaugeage réalisé le 16-11-67 pour $H = 1,64$ m (barème : 73 m³/s) a donné 75 m³/s. Le dépouillement a été conduit selon la méthode G. MAZERAN (voir in Roche Hydrologie de surface et la Houille Blanche n° B-1960, p. 839). Mais d'une part la courbe de réponse du colorimètre n'était pas parfaite et d'autre part l'extrapolation de la courbe à partir des quatre échantillons moyens était susceptible d'interprétations diverses.

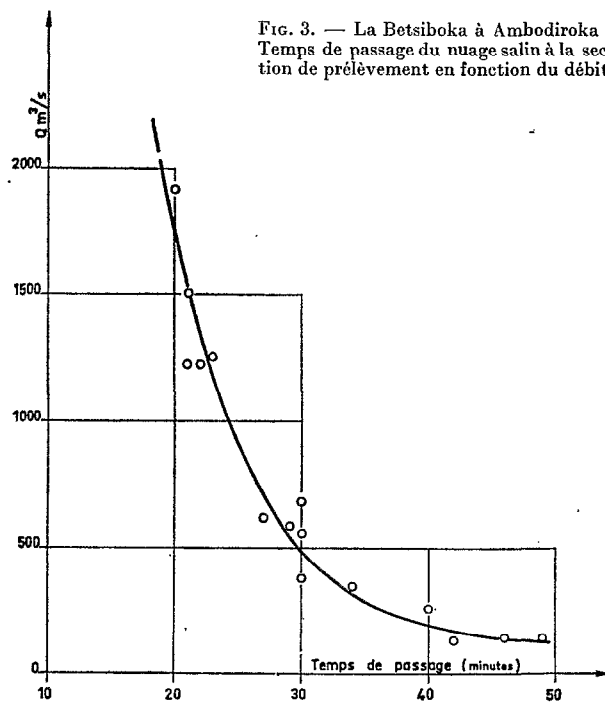
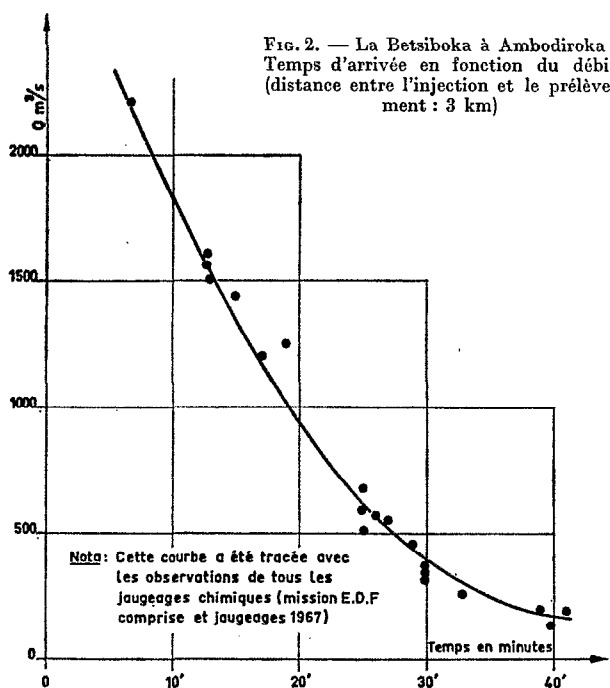
Date	H (m)	Barème	Q m ³ /s	
1-7-68	1,34	47	49,8	R × 10
9-7-68	1,30 ⁵	44	46,5	R × 10
15-7-68	1,30	43,8	43,8	R × 10

2. La Betsiboka à Ambodiroka.

La station contrôle un bassin versant de 11 800 km². Les eaux, couleur « chocolat », sont toujours très chargées même en étiage. Des rapides et des chutes importantes permettent un brassage rapide et parfait de la solution injectée.

Les dilutions ont toujours été réalisées sur place. Les premiers jaugeages ont souvent conduit à des débits beaucoup trop élevés par rapport au barème ou aux mesures au moulinet de contrôle. Plusieurs causes d'échec sont susceptibles d'être avancées :

- Courbe de réponse du colorimètre très imprécise.
- Dilutions réalisées sur place mais après le prélèvement.
- Intervalle de temps trop long entre la mesure sur le terrain et le dépouillement à Tananarive (15 jours plusieurs fois).
- Sous-estimation du temps de passage.



Betsiboka à Ambodiroka

Résultats des jaugeages chimiques (1968-1969)

N°	Date	H (m)	(Barème)	Q (m³/s)	
1	23-11-68	0,50	(137)	131	R × 10
2	25-11-68	0,48	(132)	135	R × 10
3	1-12-68	1,47	(593)	617	R × 10
4	11-12-68	1,42	(550)	575	R × 10
5	15-12-68	1,95	(1 145)	1 220	R × 10
6	16-12-68	2,33	(1 830)	1 920	R × 10
7	19-12-68	2,17	(1 510)	1 500	R × 10
8	9- 1-69	0,49	(134)	136	R × 10
9	14- 1-69	1,98	(1 190)	1 250	R × 10
10	16- 1-69	1,19	(380)	370	R × 10
11	17- 1-69	1,10	(330)	345	R × 20
12	24- 1-69	0,87	(230)	258	R × 10
13	2- 2-69	1,56	(677)	680	R × 10
14	4- 2-69	1,42	(550)	555	R × 10

(R × 10 = reconcentration 10 fois)

En novembre 1968, un laboratoire de brousse a été installé à Ambodiroka. Tous les jaugeages furent alors dépouillés sur place et le temps de passage déterminé avec la plus grande précision possible.

Betsiboka à Ambodiroka

Liste des jaugeages au moulinet (1968-1969)

Date	H (m)	Q (m ³ /s)
20-1-68	0,85 ^s	249
23-1-68	1,15	367
1-2-68	0,96 - 0,92	239
3-2-68	1,43 - 1,35	435
5-2-68	1,10	320
16-2-68	1,70 - 1,48	695
17-2-68	1,18	388
26-2-68	1,04 ^s	316
3-3-68	1,82 - 1,70	792
5-3-68	2,27 - 2,05	1 525
9-3-68	1,64 - 1,58	665
15-3-68	1,68 - 1,70	750
19-3-68	1,34 - 1,33	474
22-5-68	0,42 ^s	110
18-6-68	0,38	112
20-8-68	0,19	78,2
16-10-68	-0,01	44,6
15-12-68	1,50 - 1,44	572
17-12-68	1,95 - 1,87	1 022
28-1-69	2,50 - 2,20	2 372

Étude de la fin de passage du nuage salin.

Nous avons tenté de connaître l'allure générale de la fin de passage du nuage salin.

Une solution de 40 kg de sel dans 100 l d'eau a été injectée pour un débit de 290 m³/s. Nous avons prélevé 12 échantillons pendant la fin du passage. Après floculation, reconcentration 20 fois et analyse colorimétrique, les valeurs des lectures reportées sur papier semi-logarithmique en fonction du temps nous ont permis de noter une cassure très nette entre les échantillons encore fortement concentrés et les extrêmes. Ce qui a été confirmé par d'autres essais.

Ces études devraient être renouvelées pour des débits allant de 100 à 2 000 m³/s. Il serait ainsi possible de déterminer la valeur pour laquelle se produit la cassure de même que la pente de la droite terminale pour différents débits.

Ces exemples nous ont permis de tracer avec plus de sûreté la courbe de décroissance correspondant à certains jaugeages pour lesquels le nombre d'échantillons terminaux prélevés était insuffisant. Le temps exact de passage peut ainsi être connu avec encore plus de certitude.

La courbe d'étalonnage utilisée comme critère de référence est celle qui est publiée dans la Monographie de l'Ikopa et de la Betsiboka (tome II. - Données hydrologiques par M. ALDEGHERI).

Cette courbe présente une certaine imprécision dans les forts débits mais les jaugeages chimiques correspondent à des cotes pour lesquelles la précision est satisfaisante.

De plus, une série de jaugeages au moulinet a permis de contrôler le tarage et également les résultats des jaugeages chimiques.

JAUGEAGE CHIMIQUE PAR DILUTION

BOITES DE PRÉLÈVEMENT N° 5 et 6
 BONBONNES D'EAU N° 6 J.
 DILUTIONS : sur place et pendant le prélèvement

COURS D'EAU : **BETSIBOKA**
 STATION : **Ambodiroka**

Matériel d'injection (Type) : **méthode globale**
 Estimation débit rivière : **1.510 m³/s**
 d'après : — courbe de tarage
 Volume de solution : **200 L** Poids de sel : **120 k.**
 Débit d'injection q = **cm³/s** Ajustage : **...**

DATE de la mesure : **19-12-68** N° DU Jaugeage : **...** HAUTEUR : **2,17** DÉBIT en m³/s : **1.500**

Temps d'arrivée : estimé : **15 minutes.** réel : **15 minutes.**
 Temps de passage : **21 minutes**
 Injection : début à : **8 h.50** fin à : **...**

SOLUTION MÈRE INITIALE —

DILUTIONS	Blanc	1/10.000.000	1/8.000.000	1/6.400.000	1/5.000.000	1/4.000.000
CONCENTRATIONS	0	1.10^{-7}	1,25.	1,56.	2.	$2,5 \cdot 10^{-7}$
LECTURES	63	83	87 ²⁵	95	102 ²⁵	114

PRÉLÈVEMENTS

Nombre : **Vingt** 1 à 12 13 à 20
 Intervalle de temps : **1 minute** 2 minutes
 Lieu : Téléphonique R.G Premier à : **9 h.01**
 d = 3 km. Dernier à : **9 h.28**

PRÉLÈVEMENTS

NUMÉROS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
LECTURES									80	76	71 ⁵	67 ⁵	
temps en minutes									12	14	16	18	
E.M.									83 ²⁵	83 ⁵			
									$1,06 \cdot 10^{-7}$				
									21 minutes				

Schéma des lieux

LECTURE À L'ÉCHELLE	220	217		
HEURE	8 h.30	8 h.50		

COLONIMÈTRE **J.Y.**
 RÉGLAGE INITIAL **70**
 EAU EMPLOYÉE **Rivière** PH
 LECTURE MOYENNE **83²⁵ - 83⁵**
 CONCENTRATION MOYENNE **$1,06 \cdot 10^{-7}$**

$Q = \frac{V}{T.C} = \text{DÉBIT } 1500 \text{ m}^3/\text{s}$

OBSERVATIONS

Fluclulé **SiO₃Na₂**
Al₂(SO₄)₃
 Décanté 3h.
 Reconcentré 10 fois.

OPÉRATEURS : **...** DATE : **19-12-68**

OPÉRATEURS DU DÉPOUILLEMENT : **...** DATE : **19-12-68**

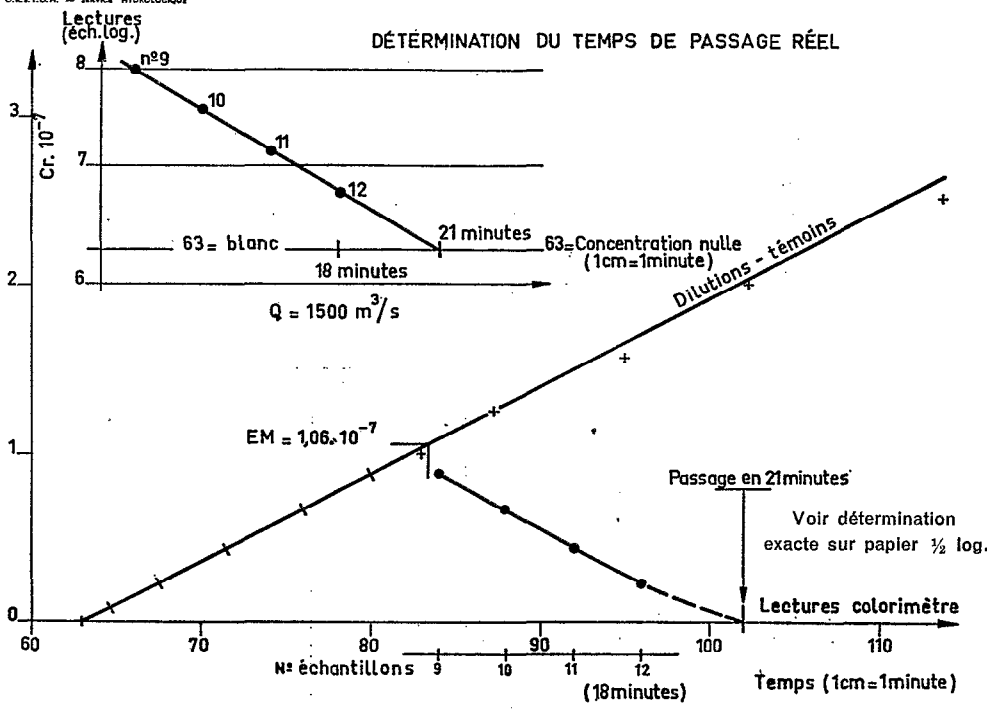


Fig. 4. — Jaugeage chimique par dilution.

FIG. 5. — La Betsiboka à Ambodiroka :
Étude de la fin du passage du nuage
salin au point de prélèvement.

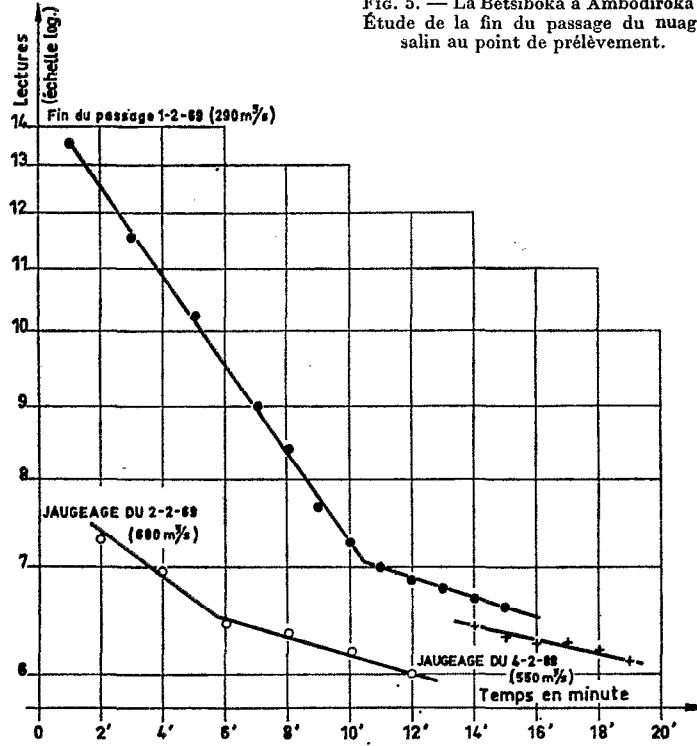
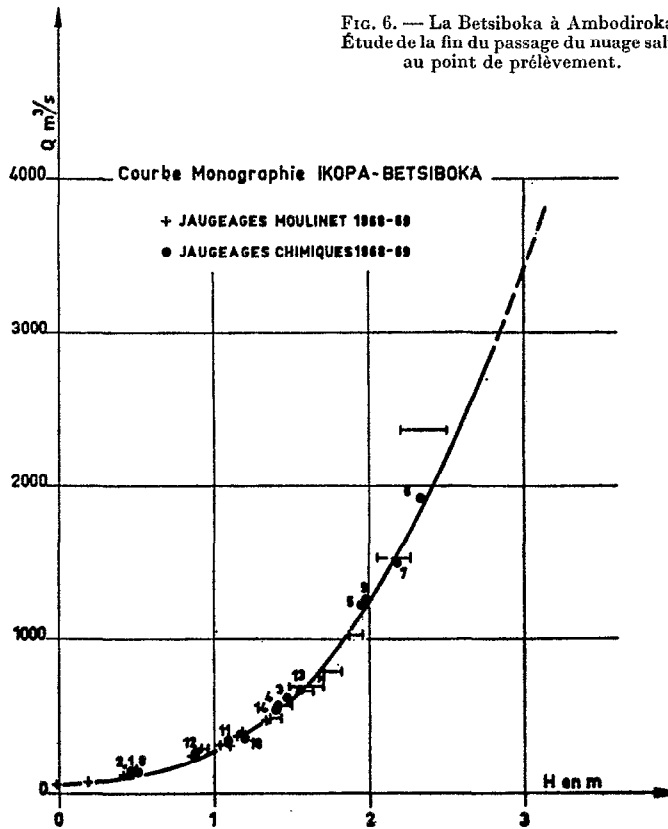


FIG. 6. — La Betsiboka à Ambodiroka :
Étude de la fin du passage du nuage salin
au point de prélèvement.



Conclusion

Les premiers essais d'application de la méthode de dilution sur les rivières de Madagascar (eaux chargées et forts débits) demandent encore à être poursuivis et les résultats obtenus améliorés.

En particulier, les méthodes de dépouillement sont à préciser (détermination exacte de la durée du passage, emplois d'appareils d'analyse plus sensibles).

Néanmoins, nous pensons que ces premiers résultats sont encourageants et laissent espérer de nouveaux développements à cette méthode dont on disait encore, il y a quelques années, qu'elle ne pourrait jamais s'appliquer à des débits supérieurs à quelques dizaines de m³/s.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRÉ (H.). — « Hydrométrie pratique des cours d'eau - Jaugeages par la méthode de dilution » - Cercle des élèves E.I.H. - Grenoble.
- DUMAS (H.). — « La méthode chimique pour la mesure des cours d'eau » - La Houille Blanche, n° 5-1952 et 1-3-1953.
- ANDRÉ (H.). — « Méthode chimique de dilution, procédé par intégration » — La Houille Blanche n° B-décembre 1960.
- ROCHE (M.). — « Hydrologie de surface » - O.R.S.T.O.M.
- DUTILLET (J.-L.). — « Essais en vue de l'extension de la méthode de dilution aux jaugeages des débits de plusieurs centaines de m³/s en rivières de plaine » - C.I.E.H., septembre 1966.
- « Application aux régimes tropicaux de la méthode de jaugeage chimique par dilution » (mission E.D.F. à Madagascar). - E.D.F.-IGECO.