

Note concernant les jaugeages par la méthode de dilution au bichromate de sodium

Application aux régimes tropicaux ou désertiques

Jean THIÉBAUX
D.T.G. — E.D.F. Grenoble

RÉSUMÉ

Ayant acquis une profonde expérience de terrain sous des régimes hydrologiques variés, l'auteur présente des remarques d'ordre pratique concernant les différents aspects que requiert la mise en œuvre de la méthode de dilution pour l'estimation des débits. Il met ainsi l'accent de façon détaillée sur le matériel et l'organisation nécessaires, la rigueur à apporter aux mesures et aux dépouillements, les difficultés qui peuvent apparaître sur le terrain et les pièges de tous niveaux à éviter.

ABSTRACT

Possessing a wide experience obtained on the field under various hydrological regimes, the author presents remarks of practical order concerning all the bearings involved in the application of the dilution method for discharge calculation. He focuses into details on the material and required organization, the care to exercise in measuring and analysing, the difficulties which can occur on the field and the traps to avoid at all the steps.

SOMMAIRE

1. Introduction
2. Niveau d'études et formation
3. Organisation au sein du service
4. Le bichromate
5. La documentation sur le terrain
6. Les différents types de cours d'eau accessibles aux jaugeages par dilution
7. Reconnaissances
8. Les distances de bon mélange
9. Exemple de déroulement d'un jaugeage
10. Les temps de propagation
11. Comment mener les calculs sur le terrain
12. Dilution sur le terrain
13. Le laboratoire
14. L'ajutage
15. Traitement des eaux sales
16. Les pièges
17. Conclusions

1. INTRODUCTION

Tous les hydrologues rêvent du jour où il suffira de plonger dans un cours d'eau un débitmètre ayant l'apparence d'un thermomètre pour obtenir le débit de ce cours d'eau.

Ce jour n'étant pas encore arrivé, il nous faut encore plonger notre vaillant et fidèle moulinet hydrométrique si le cours est bien sage, et injecter une pincée de sel s'il est turbulent.

C'est en effet vers 1863, dit-on, qu'une « nouvelle » méthode pour jauger les fluides apparaît. C'est la méthode de dilution. Si depuis cette date les principes de base n'ont pratiquement pas changé, la technologie, elle, a bien évolué. De 1950 à 1960 le matériel est considérablement amélioré. De 1960 à 1970 on maîtrise les débits importants. De 1970 à 1980 on « exporte » la méthode aux régimes tropicaux et sahéliens.

Parallèlement à cette évolution et périodiquement, des chercheurs expérimentent des traceurs différents dans le but de trouver celui qui réunira le maximum de qualités. Alors des noms passent... avec nos espoirs, lithium, rhodamine, brome, tritium, colorant alimentaire, etc. mais le bichromate de sodium reste. En 1979 les dosages généralement employés pour les mesures sont de 0,3 milligramme par litre. Cette solution est considérée comme « potable » par les normes ISO. Mais nous savons que le chrome reste le chrome !

En attendant le traceur idéal, de nombreux hydrologues se débattent encore avec le bichromate et certains d'entre eux, isolés, insuffisamment formés ou informés, rencontrent encore des difficultés dans l'utilisation de cette méthode de jaugeage, surtout face à des débits importants, en crue, et dans des eaux chargées de limons en suspension.

Les hydrologues sont convaincus de l'utilité de pouvoir pratiquer cette méthode qui est complémentaire aux mesures des débits obtenus par exploration du champ des vitesses. Mais sous une apparence simple, cette méthode est parsemée d'embûches où le néophyte se fera honnêtement piéger.

Cet article a donc pour objet principal de préciser quelques détails, surtout d'ordre pratique, sur les difficultés le plus couramment rencontrées. Il s'adresse tout particulièrement aux techniciens hydrologues isolés ayant déjà pratiqué sporadiquement la méthode des jaugeages par dilution et ayant parfaitement assimilé le livre de MM. André, Audinet, Mazeran et Richer : *Hydrométrie pratique des cours d'eau*.

Ce document, paru chez Eyrolles, éditeur à Paris, en 1976 est absolument indispensable à tout jaugeur par dilution, expérimenté ou non.

Insistons encore sur le fait que la pratique de cette méthode ne tolère aucune négligence, si infime soit-elle, aucun instant d'inattention dans les moindres détails, que ce soit au moment du chargement du matériel, au laboratoire, sur le terrain, lors du lavage du matériel et de la verrerie, du conditionnement, etc.

On le concevra aisément si l'on réalise ce que représente une manipulation, dans toutes les conditions, d'une solution diluée à 10^{-6} . 10^{-7} côtoyant la solution concentrée d'origine.

Rappelons enfin qu'il faut aux opérateurs des défauts tel que : méfiance, obstination, maniaquerie... et bien d'autres encore !

2. NIVEAU D'ÉTUDES — FORMATION

Il est bien difficile de décréter que tel ou tel niveau d'études est indispensable pour diriger convenablement une équipe de jaugeurs par dilution. Un bon niveau de fin d'études secondaires facilite la compréhension de la méthodologie mais il faut surtout à l'opérateur principal un bon sens de l'observation et de l'organisation, la volonté d'un homme de terrain et une grande méticulosité, toutes conditions qui ne sont pas toujours faciles à réunir.

La formation... c'est l'expérience. Elle s'acquiert, comme toujours et pour tout, avec le temps et le travail personnel sur le terrain et au laboratoire. Encore faut-il que « l'apprenti » soit motivé et fasse des efforts.

Quelques écoles ont à leurs programmes des démonstrations de jaugeages par dilution mais la plupart du temps les nouveaux jaugeurs sont formés par les anciens.

D'autres ont suivi des stages à la Division technique générale d'Electricité de France.

Dans certains cas un technicien d'EDF D.T.G. a été envoyé sur place, soit pour lancer la méthode, soit pour conseiller une jeune équipe qui a rencontré quelques difficultés, cette dernière solution étant finalement, dans certains pays, plus efficace que la première.

La formation doit être progressive. On commence par des mesures simples, c'est-à-dire, petits débits, eau claire, conditions météorologiques bonnes. Lorsque toutes les variantes ont été bien assimilées on passe à des débits plus importants, puis à l'eau chargée.

3. ORGANISATION AU SEIN D'UN SERVICE

L'organisation d'une équipe d'intervention en jaugeage par dilution peut être différente d'un pays à l'autre.

Cela dépend de l'importance du service hydrologique et du réseau, de la nature des mesures à effectuer et du terrain, ainsi que de bien d'autres facteurs.

Dans certains services, tous les agents, sans exception, pratiquent plus ou moins le jaugeage par dilution. D'autres services se sont orientés vers une équipe spécialisée.

Un ingénieur hydrologue devrait avoir pratiqué et bien connaître les principes des différentes méthodes de jaugeage par dilution. Ce n'est généralement pas lui qui effectue les mesures courantes. Il apporte son appui lors des mesures difficiles.

Comme tous les travaux « de terrain » et dans ce cas, même au laboratoire, les horaires sont rarement prévisibles. Il faut donc, au sein de l'organisation, une certaine souplesse de manœuvre et une certaine fiabilité.

Dans tous les cas, le matériel est remis en état dès le retour de mission et tenu prêt à repartir immédiatement.

Il sera constitué sous forme de lots, caisses, cuves, ou cantines spécialement aménagées rassemblant tout le matériel par catégorie, faciles à charger dans le véhicule et à transporter individuellement sur le terrain.

L'idéal restant la fourgonnette aménagée avec mini-atelier, mini-labo, tout le matériel moulinet ou dilution judicieusement réparti dans des coffres latéraux. Il est facile d'y installer l'eau, le gaz, l'électricité... et la télévision, pour les prévisions météorologiques évidemment !

Quelle que soit l'organisation choisie, ce matériel doit être uniquement réservé aux équipes de jaugeurs surtout celui du laboratoire et des check lists sont indispensables.

Les hydrologues préfèrent en général dépouiller leurs mesures de terrain eux-mêmes, cela est en effet souhaitable. Pour les jaugeages par dilution il n'y a absolument aucun inconvénient à ce que les dépouillements au laboratoire soient effectués par quelqu'un qui n'a pas participé à la mesure. D'où la possibilité de former « un laborantin » ou une « laborantine » plus ou moins sédentaire, responsable du laboratoire et des produits, et qui assurera les dépouillements courants. Il doit être aidé, évidemment, dans les cas plus complexes tels que : reconcentration, filtration, grand nombre d'échantillon, etc.

Qu'est-ce qu'une équipe de jaugeurs ?

Il nous est arrivé d'effectuer de petits jaugeages par dilution du type injection globale avec un seul opérateur. Cela est possible sous certaines conditions mais doit rester l'exception ne serait-ce que par souci de sécurité.

Dans tous les cas simples, c'est-à-dire bief connu, eau claire, conditions météorologiques bonnes, accès facile et petit débit (inférieur à 50 m³/s) l'équipe est le plus souvent constituée par deux opérateurs. L'un possédant bien la technique, l'autre pouvant être simplement un aide de confiance, à qui on indique sur place ce qu'il doit faire et à quel moment précis.

Dès que les conditions de travail deviennent un peu dures : mauvais temps, accès difficile, avec du portage, la nuit, etc. mais que l'eau est encore claire et les débits inférieurs à 500 m³/s alors il faut deux solides gaillards, voir trois, aguerris aux travaux de terrain et connaissant, au moins pour deux d'entre eux, parfaitement la méthode.

En présence d'eau chargée de limon en suspension, très sale ou légèrement trouble, il faut être trois : deux connaissant bien le travail et un aide. L'un est à l'injection, l'autre aux prélèvements et le troisième au « labo de campagne », c'est-à-dire occupé à effectuer, pendant l'injection, la gamme de dilution témoin. (Voir § 12.)

Dès que l'on est familiarisé avec les mesures « simples » on se trouve tenté d'aborder les cas plus complexes. C'est un des intérêts de la méthode qui peut encore intervenir là où toute autre méthode de mesure est impossible.

Outre les mesures spéciales qui comportent des particularités telles que injection sous pression, prélèvements en zodiac, injection plus ou moins acrobatique dans une tulipe déversoir etc., les mesures « difficiles » le plus couramment rencontrées sont les gros débits.

Généralement « les gros » drainent avec eux bon nombre de difficultés : bief mal connu, accès difficiles, pluie, variation rapide des débits, distances injection-prélèvement importantes, eau très sale, poids de sel à mettre en œuvre important (plusieurs centaines de kilogrammes), étalonnage important et rare que l'on souhaite donc réussir, le tout de nuit éventuellement.

Dans ces cas-là, il ne faut pas hésiter à rameuter toutes les forces possibles.

Deux ou trois sections de prélèvement assurent généralement mieux la réussite :

Deux opérateurs à l'injection, un au labo de campagne, une voiture de liaison, soit au moins sept agents.

Sur le Sebou, au Maroc, nous avons été jusqu'à 16 personnes pour des mesures différentielles en eau claire, beau temps, débits de l'ordre de 10 m³/s.

Sur la Betsiboka, à Madagascar, nous étions 6 pour 2 200 m³/s, eau sale, beau temps.

Dans tous les cas il faut : une très bonne organisation, donner à chacun des participants des instructions très précises, avoir une parfaite confiance dans tous les membres de l'équipe et il est indispensable que l'un d'eux prenne la direction des opérations.

Ajoutons encore que comme toujours lorsque l'on est en présence de travaux de terrain il est souhaitable de constituer une équipe composée de bons éléments s'accordant bien, accrocheurs, ayant l'habitude de travailler ensemble et pratiquant souvent les jaugeages par dilution.

On constate avec ce qui précède que l'équipe peut aller de 2 à 10 agents et même plus, preuve que les jaugeages par dilution sont très différents de l'un à l'autre suivant les éléments en présence

4. LE BICHROMATE DE SODIUM

Comme il a déjà été cité précédemment, en 1979 des chercheurs travaillent avec d'autres traceurs afin de proposer celui qui réunira le maximum de qualités pour simplifier les jaugeages par dilution.

Les spectrophotomètres utilisés actuellement permettent de travailler à des concentrations de 0,3 milligramme de bichromate par litre dans le cours d'eau. Ceci est considéré par les normes ISO comme étant encore de l'eau potable puisque 0,3 mg/l de bichromate ne donne que 0,1 mg/l de chrome.

Par contre le bichromate en cristaux ou en solution concentrée à 500 ou 600 g/l est dangereux pour l'homme et les animaux. Il faut donc confier ce sel à des gens informés et suffisamment conscients pour avoir en permanence le souci de la sécurité, tant pendant l'emploi du produit que sur les lieux de stockage.

C'est ainsi que l'on interdit de pipeter directement de la solution concentrée, que l'on demande aux opérateurs à l'injection de porter des gants, à ceux du conditionnement de porter un masque lorsqu'ils doivent manipuler du sel en poudre par grande quantité, que l'on rince à grande eau tout ce qui a contenu du sel concentré etc.

M. J. Grindley, du laboratoire de recherches sur la pollution des eaux à Watfort, Angleterre, avait étudié, en 1946, la toxicité du bichromate sur les truites et les vairons, le tableau ci-dessous résume les durées approximatives au bout desquelles les poissons « perdaient l'équilibre » dans des solutions de bichromate à diverses concentrations.

		Concentration en mg/l							
		20	50	250	500	750	1 000	2 000	5 000
Durée d'immersion souvent mortelle	Toxicité nulle		75 h	7 h	3 h	2 h	75 mn	60 mn	30 mn

5. LA DOCUMENTATION SUR LE TERRAIN

Il est utile d'avoir sur les lieux de la mesure la carte ou les plans détaillés (ouvrage hydraulique).

S'il s'agit d'une station hydrologique avec déjà quelques mesures il sera bon d'avoir le dossier de la station pour estimer le débit. Mieux encore s'il y a déjà une courbe d'étalonnage ou des courbes de propagation (voir § 10).

Il est presque indispensable à l'équipe de jaugeage de s'être constitué un dossier plastique avec pochettes également en plastique transparent dans lesquelles on va disposer des :

- Tableaux de calculs du poids de sel à injecter en fonction du débit, du temps de passage et du matériel utilisé.
- Check lists du matériel à emporter.
- Tableaux des étalonnages des cuves.
- Carnet de jaugeage.
- Modèles de calculs pour une injection globale.
- Modèles de calculs pour une injection continue.

Il arrive que l'on ait à dépouiller sur place ou au minimum à effectuer les gammes de dilutions témoins. Il faut dans ce cas prévoir d'emporter également « le dossier labo ».

5.1. POIDS DE SEL À INJECTER

5.1.1. Injection instantanée

DÉTERMINATION DU POIDS DE SEL APPROXIMATIF EN FONCTION DU DÉBIT ATTENDU, DU TEMPS DE PASSAGE DU NUAGE DE FLUORESCÉINE ET DU TEMPS DE PRÉLÈVEMENT

Débit attendu dans la rivière en m ³ /s	Temps de prélèvement en minutes															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
Poids de sel à injecter en Kg pour obtenir une concentration de 1 mg/l de l'échantillon moyen																
1	0,06	0,12	0,18	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,55	0,60	0,70	0,85	0,95	1,00	1,20	
2	0,12	0,25	0,35	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,10	1,20	1,40	1,70	1,90	2,00	2,40	
4	0,25	0,50	0,70	1,00	1,20	1,40	1,60	2,00	2,20	2,40	2,80	3,40	3,80	4,00	4,80	
6	0,37	0,75	1,05	1,50	1,80	2,10	2,40	3,00	3,30	3,60	4,20	5,10	5,70	6,00	7,20	
8	0,50	1,00	1,40	2,00	2,40	2,80	3,20	4,00	4,40	4,80	5,60	6,80	7,60	8,00	9,60	
10	0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	7,20	8,40	9,60	10,8	12,0	
12	0,74	1,50	2,10	3,00	3,60	4,20	4,80	6,00	6,60	7,20	8,40	10,2	11,4	12,0	14,4	
14	0,85	1,70	2,50	3,35	4,20	5,00	5,90	6,70	7,60	8,40	10,0	11,8	13,4	15,1	16,8	
16	1,00	2,00	2,80	4,00	4,80	5,60	6,40	8,00	8,80	9,60	11,2	13,6	15,2	16,0	19,2	
18	1,10	2,20	3,20	4,30	5,40	6,50	7,60	8,60	9,70	10,8	13,0	15,1	17,3	19,4	21,6	
20	1,20	2,50	3,50	5,00	6,00	7,00	8,00	10,0	11,0	12,0	14,0	17,0	19,0	20,0	24,0	
30	1,80	3,60	5,40	7,20	9,00	10,8	12,6	14,4	16,2	18,0	21,6	25,2	28,8	32,5	36,0	
40	2,50	5,00	7,00	10,0	12,0	14,0	16,0	20,0	22,0	24,0	28,0	34,0	38,0	40,0	48,0	
200	12,0	25,0	35,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100	110	120	140	170	190	200	240	

JAUGEAGES PAR LA MÉTHODE CHIMIQUE DE DILUTION

Vase à niveau constant modèle A

Débit des ajutages Temps d'injection Poids de sel

Tarage fait à Rabat en octobre 1974 par 10 pesées volumétriques par diaphragme avec l'eau de la ville
à des températures comprises entre 20 et 24 °C

Diaphragme Ø mm et marque	Q débits ajutage en cm ³ /s	V Volume solution en litres	Durée d'injection en minutes	Q DÉBITS ESTIMÉS DANS L'OUED en m ³ /s															
				0.1	0.25	0.5	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	50	100	
				POIDS DE SEL À DISSOUDRE EN KILOGRAMMES POUR OBTENIR UNE CONCENTRATION FINALE DE 1 milligramme par litre															
A 3	13,64	20	24	0,2	0,4	0,8	1,5	3	4	6	7	15							
		40	49	0,3	0,8	1,5	3	6	9	12	15	30							
		100	122	0,7	2	4	7	15	22	30	37	73							
		150	183	1	3	5	11	22	33	44	55	110							
A 4	21,26	40	31	0,2	0,4	0,9	1,9	4	6	7	9	19	28	38					
		100	78	0,5	1,2	2,5	5	9	14	19	23	47	70	94					
		150	117	0,7	2	4	7	14	21	28	35	70	106	141					
		200	156	1	2,5	5	9	18	28	38	47	94	114	188					
A 6	35,48	40	18	0,1	0,3	0,6	1,2	2	3	5	6	11	17	23	28	34			
		100	47	0,3	0,7	1,5	3	6	8	11	14	28	42	56	70	84			
		150	70	0,4	1	2	4	8	13	17	21	42	63	85	106	127			
		200	94	0,6	1,5	3	6	11	17	23	28	56	85	113	141	169			
A 8	73,41	100	22	0,1	0,3	0,6	1,5	3	4	5	7	14	20	27	34	41	68		
		150	34	0,2	0,5	1	2	4	6	8	10	20	31	41	51	61	102		
		200	45	0,3	0,7	1,5	3	5	8	11	14	27	41	54	68	82	136		
		250	57	0,4	0,9	2	3,5	7	10	14	17	34	51	68	85	102	170		
A 10	95,74	100	16	0,1	0,25	0,5	1,0	2	3	4	5	10	15	20	24	29	48	96	
		150	24	0,15	0,4	0,75	1,5	3	4,5	6	7,5	15	22	29	36	44	73	144	
		200	32	0,2	0,5	1	2	4	6	8	10	20	29	39	48	58	97	193	
		250	40	0,25	0,6	1,2	2,5	5	7,5	10	12	24	36	48	60	72	121	241	

CHECK LIST

INJECTION GLOBALE - MATERIEL A EMPORTER

FLUORESCEINE	METRE
1 TOUILLÉUR	RACCORD Y
1 CUVE 200	THERMOMETRE
1 CUVE 140	COUTEAU
1 CUVE 40	SCOTCH
1 EPROUVETTE PLAST 2L	FIL DE FER
1 EPROUVETTE PLAST 1L	PINCE ETAU
1 EPROUVETTE PLAST 100ml	PINCE UNIVERSELLE
TUYAUX Ø 17	GANTS
3 RACCORDS DE TUYAU	TOURNEVIS MULTI
3 VANNES	TUYAU RHODORSIL
3 TUBES ESSAIS	CREPINE
1 MICRO - POMPE	SACS PLASTIQUE

BICHROMATE LIQUIDE 0,5 - 1 - 5L.
BICHROMATE SOLIDE 1 - 5 - 50 kg.
BONBONNES ÉCHANTILLON MOYEN
BONBONNES EAU OUED
BOITES PRELEVEMENTS GM ETUIS 50
BOITES PRELEVEMENTS PM ETUIS 40
CARNET JAUGEAGE
DOSSIER PLASTIQUE TERRAIN

CHECK LIST

INJECTION CONTINUE - MATERIEL A EMPORTER

1 CUVE 200	1 FILTRE
1 CUVE 140	ALLUMETTES
1 CUVE 40	META-ALCOOL SOLID
3 VANNES ECRASEM	1 COUTEAU
1 VASE A	SCOTCH
1 VASE B	FIL DE FER
FLUORESCINE	3 JOINTS
5 RAMPES	2 GANTS
10 RACCORDS DE RAMPES	1 TOURNEVIS MULTI
10 RACCORDS DE TUYAU	1 THERMOMETRE
TUYAU Ø 17	1 METRE
1 ENTONNOIR	1 RACCORD Y
2 GODETS GM 50	1 PINCE UNIVERSELLE
2 GODETS PM 40	1 PINCE ETAU
1 VASE INJECTION	3 PIEDS OBLIQUES
5 AJUTAGES	3 PIEDS DROITS

BICHROMATE LIQUIDE 05_1.5 l

BICHROMATE SOLIDE 1.5_50kg

BONBONNES EAU OUED

BOITES PRELEVEMENTS GM ETUIS 50

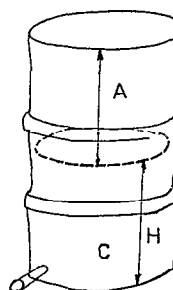
BOITES PRELEVEMENTS PM ETUIS 40

CARNET DE JAUGEAGE

DOSSIER PLASTIQUE TERRAIN

ÉTALONNAGE CUVE-FUT DE 200 l GALVANISÉ

C	A	H
CAPACITE DE LA SOLUTION EN LITRES	DISTANCE DEPUIS LE BORD en cm	HAUTEUR DE LA SOLUTION DANS LACUVE en cm
0	90.0	0.0
10	85.4	4.6
20	81.5	8.5
30	77.6	12.4
40	73.7	16.3
50	69.8	20.2
60	65.9	24.1
70	62.1	27.9
80	58.3	31.7
90	54.4	35.6
100	50.5	39.5
110	46.6	43.4
120	42.7	47.3
130	38.8	51.2
140	35.0	55.0
150	31.1	58.9
160	27.2	62.8
170	23.3	66.7
180	19.4	70.6
190	15.5	74.5
200	11.6	78.4
210	7.7	82.3
220	3.8	86.2



5.1.2. Injection à débit constant

Exemple de calcul du poids de sel à injecter

Débit estimé de l'oued.....	4 m ³ /s (4 000 l/s)
Temps de passage fluo	30 mn (1 800 s)
Temps de prélèvement	15 mn (900 s)
Temps d'injection 30 + 15	45 mn (2 700 s)
Temps d'injection en secondes	2 700
× débit de l'oued en litres/s	4 000
<hr/>	
= poids de sel à injecter :	10 800 000 × C

Soit 10 800 g = 10,8 kg pour des échantillons à C = 1 mg/l et : 10,8 × 0,3 = 3,24 kg pour les échantillons à C = 0,3 mg/l.

On peut choisir sur le tableau :

Ajutage n°	Volume solution	Durée injection	Poids de sel pour 4 m ³ /s
A 3	40 l	49 mn	12 kg
A 4	60 l	46 mn	11 kg
A 6	100 l	47 mn	11 kg
A 8	200 l	45 mn	11 kg

5.1.3. Injection globale

Exemple de calcul du poids de sel à injecter

Débit estimé de l'oued.....	4 m ³ /s (4 000 l/s)
Temps de passage fluo	30 mn (1 800 s)
Temps de prélèvement	40 mn (2 400 s)*
Temps de prélèvement en secondes	2 400
× débit oued en litres/s	4 000
<hr/>	<hr/>
= Poids de sel :	9 600 000 × C

Soit 9 600 g = 9,6 kg (pour des échantillons moyens à 1 mg/l) et : $9,6 \times 0,3 = 2,88$ kg pour des échantillons moyens à C = 0,3 mg/l.

5.2. RAPPEL DES CALCULS

5.2.1. Méthode à injection ponctuelle

Avec cette méthode on injecte d'une façon quelconque dans la rivière un volume connu d'une solution concentrée de sel à la concentration C_1 . Dans une section S située assez loin à l'aval pour qu'un bon mélange soit réalisé, des échantillons d'eau sont prélevés durant tout le temps de passage du nuage salin et on compare la concentration de ces échantillons à celle de la solution injectée :

- soit : V = volume de solution mère injectée
 T = temps de passage du nuage
 C_1 = concentration solution mère injectée
 C_2 = concentration moyenne d'un échantillon global prélevé pendant tout le temps T
 C_p = concentration ponctuelle à un instant t
 dt = petit intervalle de temps de prélèvement
 C_r = concentration relative $\frac{C_2}{C_1} = D^{-1}$
 D = Dilution = $\frac{C_1}{C_2} = \frac{Q \cdot T}{V}$
 M = Masse de sel injecté

* Le temps de prélèvement est toujours plus grand que le temps de passage du nuage de la fluorescéine, car l'œil apprécie mal les colorations de plus en plus faibles. Cela dépend aussi des zones de calme et de la clarté de l'eau par rapport à la quantité de fluo injectée.

$$\text{soit : } C_2 T = \int_0^T C_p dt$$

$$\text{On a : } M = VC_1 = QTC_2 = Q \int_0^T C_p dt$$

$$\text{ou : } Q = \frac{VC_1}{\int_0^T C_p dt} \quad \text{ou encore} \quad Q = \frac{VC_1}{TC_2} = \frac{V}{T \cdot Cr}$$

Un exemple de calcul de débit est donné en 9.2.2.

5.2.2. Méthode à injection continue

Dans le cas de l'injection à débit constant, on a :

Q = débit du cours d'eau

q = débit d'injection

C_1 = concentration solution mère injectée

C_p = concentration ponctuelle à un instant t

C_2 = concentration échantillon prélevé dans le cours d'eau après bon mélange lorsque le palier de concentration est atteint

$d\theta$ = petit intervalle de temps d'injection

d_t = petit intervalle de temps de prélèvement

On peut écrire

$$Q = \frac{qC_1 d\theta}{\int_0^T C_p dt} \quad \text{ou encore} \quad \int_0^T C_p dt = \frac{qC_1}{Q} d\theta$$

On peut poser :

$$C_2 = \frac{qC_1}{Q} \quad \text{et} \quad \int_0^T C_p dt = C_2 d\theta$$

$$\text{soit : } Q = q \frac{C_1}{C_2}$$

6. LES DIFFÉRENTS TYPES DE COURS D'EAU ACCESSIBLES AUX JAUGEAGES PAR DILUTION

6.1. DOMAINE D'UTILISATION

Le domaine d'utilisation des jaugeages par dilution ne doit pas forcément se limiter aux cours d'eau de montagne à forte pente, à régime torrentiel, turbulents.

Nous pensons en effet maintenant qu'ils s'adressent à n'importe quel type de cours d'eau et même aux ouvrages hydrauliques sous réserve de trouver « un bief de bon mélange ».

Nous avons effectué des jaugeages dans des cours d'eau de forêt équatoriale dont la vitesse moyenne ne dépassait jamais 0,1 m/s, alors que nous n'avons pas pu en faire en présence de belles cascades spectaculaires, qui malgré leurs gros effets de turbulence n'apportent rien au brassage, d'autant plus que ce genre de profil se termine toujours par une grande vasque aux pieds des chutes où le traceur musarde béatement avant de daigner poursuivre son chemin où vous l'attendez impatiemment.

Par ailleurs, il y a rarement des problèmes de distance de bon mélange avec les ouvrages hydrauliques. Conduites forcées, dériviatives, déversoirs, galeries, canaux, etc. sont toujours excellents brasseurs par rapport à un cours naturel.

Nous avons même effectué des mesures de débits à la centrale thermique de Casablanca en eau de mer pour le refroidissement des groupes.

Tous ces ouvrages présentent généralement des sections mouillées aussi larges que hautes et il n'y a pas de zone d'eau morte à l'inverse des cours d'eau où l'on a souvent des problèmes avec le brassage horizontal, latéral, de la rive gauche à la rive droite.

Les jaugeages par dilution sont très souvent intéressants sur les aménagements et relativement faciles. De plus l'eau est souvent propre sauf pour les vidanges de fonds. La difficulté est plutôt de penser à bien noter et vérifier soi-même toutes les cotes, amont, aval et les positions des vannes, cercles, pointeaux, bâtards, déversoirs, etc.

6.2. VARIATION RAPIDE DE Q

Certains hydrologues s'obstinent à vouloir à tout prix faire des jaugeages par dilution pendant que le débit varie de façon importante.

Le principe même de la méthode est basé sur un régime constant.

Avec beaucoup d'adresse, de perspicacité, d'expérience et de chance, on peut quelquefois saisir le maximum de la crue ou un palier qui laisse alors, si tout est prêt, bien coordonné et synchronisé, le temps d'effectuer une injection dans un débit presque constant. Mais cela est déjà de l'acrobatie.

En présence de variations lentes et régulières on peut alors injecter à débit constant, relever les variations à l'échelle limnimétrique et rapporter le débit trouvé pour chaque échantillon prélevé dans le cours d'eau à la cote correspondante en respectant les décalages de temps.

Cela n'est pas très rigoureux mais peut rendre service.

L'injection continue se faisant forcément à concentration et débit d'injection constants alors que le débit du cours d'eau varie pendant le même temps, on risque d'obtenir des échantillons trop clairs, qu'il faudra reconcentrer, d'autres qui passeront normalement et d'autres enfin qui seront trop concentrés et qu'il faudra diluer. Il est évident que les échantillons de la gamme de dilution témoin devront subir les mêmes artifices pour être comparables.

Cela se solde par un gros travail de laboratoire qui doit rester l'exception et dans les cas où « le jeu en vaut la chandelle ».

7. RECONNAISSANCES

Le premier jaugeage sur un bief inconnu sera toujours « un défrichage » et « une première ».

Les jaugeages qui suivront seront beaucoup plus faciles et demanderont beaucoup moins de temps.

Le premier jaugeage peut être précédé d'une bonne consultation sur carte, si possible à petite échelle, 1/20 000, 1/50 000, 1/100 000, ou sur photo aérienne et impose en tous cas, au minimum, une sérieuse reconnaissance sur le terrain. Cette reconnaissance a pour but de déterminer l'endroit où sera injecté le traceur et le ou les lieux de prélèvement. Ayant à l'esprit les grands principes de la méthode on va choisir obligatoirement un lieu d'injection précisément dans une veine de courant préférentiel et les prélèvements seront toujours effectués dans des eaux courantes. (Voir fig. 1.)

La reconnaissance a pour but également de répertorier, au moins en mémoire, les apports, les zones d'eau stagnante, les prises d'eau, les coudes et virages, les contractions, les zones de rapides, les îlots, les débordements, les accès aux différents points du parcours, enfin de « photographier » toute l'hydrographie d'un bief afin de choisir celui qui offrira le plus grand nombre de qualités conduisant toujours au même but : temps de passage le plus court possible, bon brassage et pas d'apport intermédiaire à l'amont immédiat du point de prélèvement.

Il faut donc souvent effectuer une reconnaissance pédestre des rives gauche et droite et faire ensuite un essai à la fluorescéine.

Il n'est pas conseillé de négliger cette reconnaissance. Elle est le point de départ de la réussite ou de l'échec de la mesure.

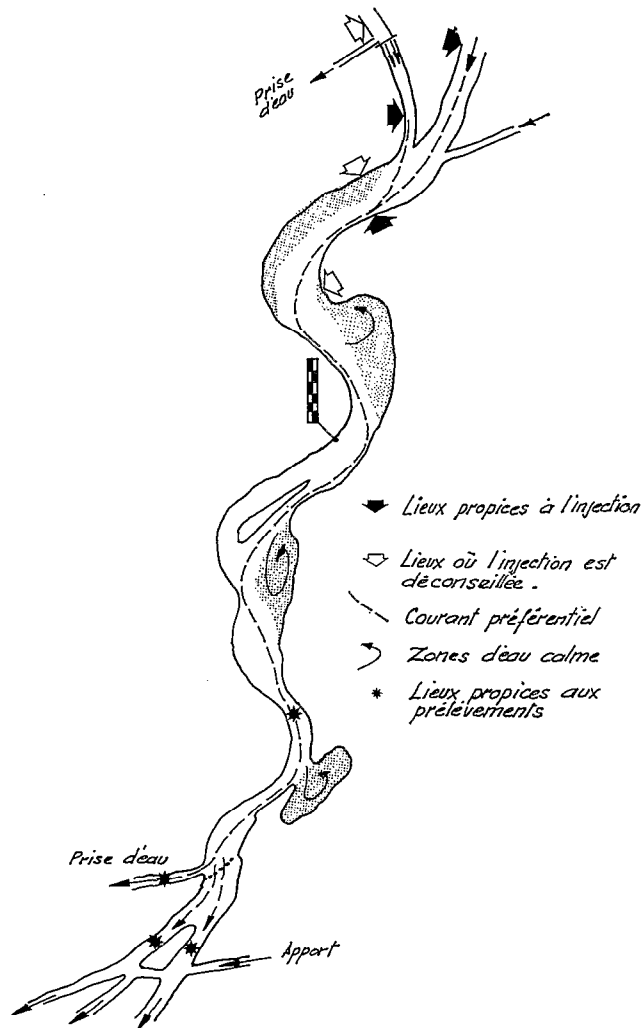


Fig. 1

8. LES DISTANCES DE BON MÉLANGE

La distance minimum nécessaire à un bon brassage n'est généralement pas connue.

On connaît la distance entre le point d'injection et le point de prélèvement, on sait en général si le bon brassage a été obtenu ou non, mais on ignore, en cas de réussite, si cette distance pourrait être réduite.

Au départ sur un cours d'eau qui n'a jamais été testé, seule l'expérience de l'opérateur permettra de déterminer le bon bief avec plus ou moins de chance.

8.1. ORDRE DE GRANDEUR

M. André, dans son livre, indique quelques formules théoriques ou expérimentales.

Rappelons les plus simples et les ordres de grandeur suivants

● En rivière :

<i>Largeur</i>	<i>Longueur de bon mélange</i>
0 à 10 m	50 à 500 m
10 à 50 m	500 à 2 500 m
50 à 200 m	2 500 à 15 000 m

● En conduite :

$$\text{Longueur de bon mélange} \geq 75 \varnothing$$

\varnothing étant le diamètre de la conduite.

On constate que :

La distance « de bon mélange » peut varier de quelques mètres à quelques kilomètres. Elle est fonction des coudes, de la largeur, de la pente, de la profondeur, des vitesses, des turbulences, de la rugosité du lit et des bras, des apports et des fuites et évidemment du débit.

Il n'y a donc pas de règle applicable dans tous les cas, les essais et l'expérience aboutissant à la réussite.

Si c'est à l'aide de la fluorescéine que l'on détermine les temps de passage d'un nuage injecté dans de l'eau claire de façon ponctuelle, c'est à l'aide de l'injection continue de bichromate que l'on détermine si le bief a été bien choisi, qu'il y a effectivement bon brassage, que l'on a prélevé suffisamment tôt et arrêté suffisamment tard.

Pour ces raisons, il sera toujours préférable de faire les premières mesures à une station à l'aide de l'injection continue avant de passer à l'injection ponctuelle.

L'interprétation des premiers résultats doit permettre de corriger, si besoin est, et d'apporter des précisions fort utiles par la suite.

8.2. VARIATION DU TAUX DE BICHROMATE EN FONCTION DU TEMPS

8.2.1. Cas de la figure 2a (bonne prise de palier)

Cette figure démontre que la prise de palier est bonne.

Voir maintenant la figure 3.

On peut déterminer le temps de « passage » t_p réel d'une injection ponctuelle puisque l'on connaît :

- l'heure de début d'injection H'_i
- l'heure de la fin de l'injection H''_i
- l'heure du début de palier H_d qui est égale à l'heure de la fin de passage d'une injection ponctuelle
- l'heure de la fin de palier H_f .

On détermine t_a le temps d'arrivée avec :

$$t_a = H_f - H''_i$$

l'heure d'arrivée H_a avec :

$$H_a = H'_i + t_a$$

et l'on obtient t_p le temps de passage d'une injection ponctuelle

$$t_p = H_d - H_a$$

et P le temps du palier

$$P = H_f - H_d = [H''_i - H'_i] - [H_d - H_a]$$

Ces résultats au colorimètre indiquent en plus que le débit d'injection était bien constant, que le débit de l'oued l'était également et, renseignement important, que le brassage (bon mélange) a été parfaitement obtenu si les échantillons ont été effectivement prélevés simultanément dans toute la section R.G. — M — R.D.

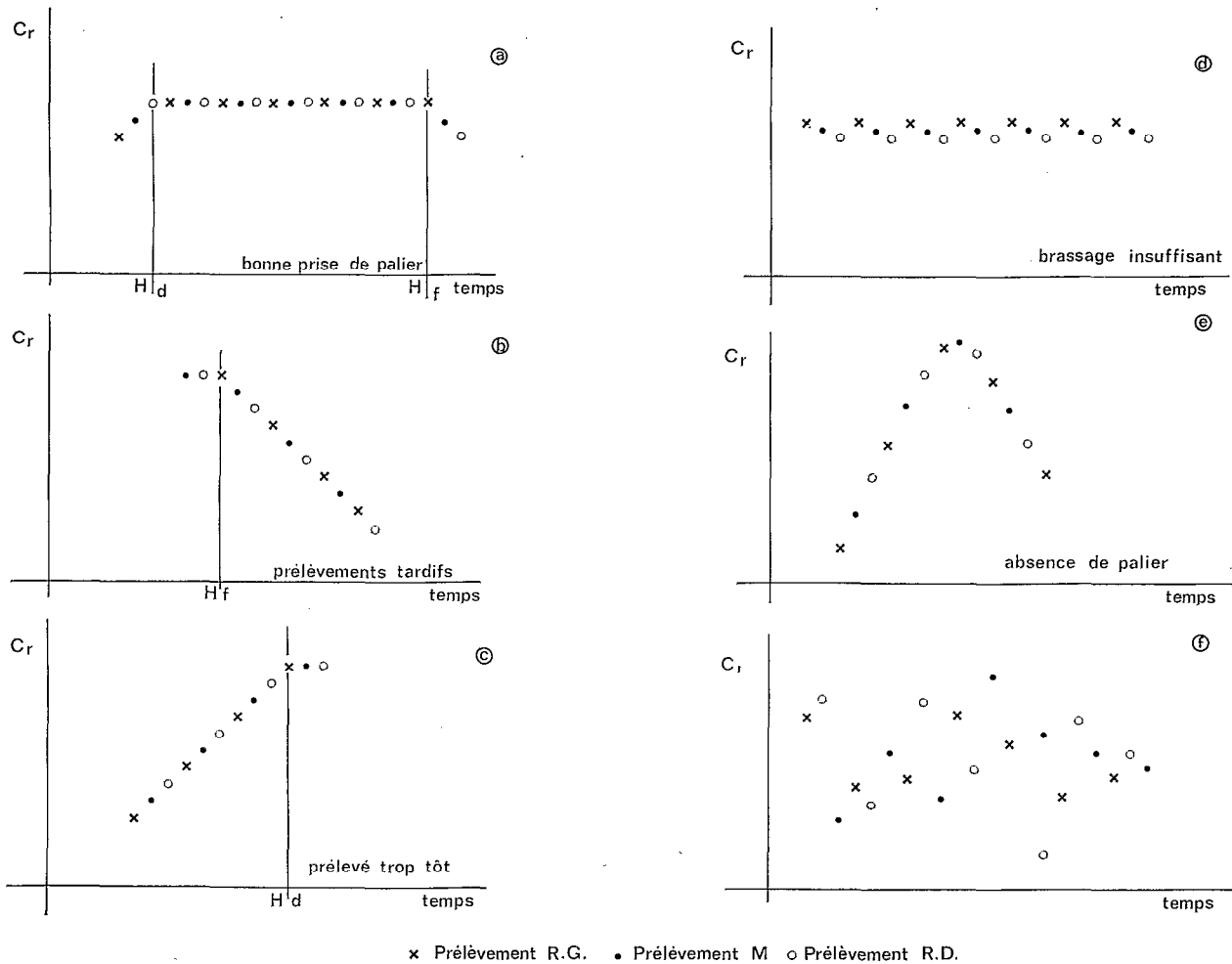


Fig. 2

8.2.2. Cas de la figure 2 b (prélèvement tardif)

Ce type de résultat indique que les prélèvements ont été commencés trop tard et poursuivis trop longtemps. Avec H_f et H'_1 on pourra déterminer t_a . Avec H'_1 et t_a on pourra également trouver H_a mais on ne peut pas déduire t_p , ni P , ni H_d .

8.2.3. Cas de la figure 2 c (prélèvement hâtif)

Ce résultat indique que les prélèvements ont été commencés et arrêtés trop tôt. On ne peut rien déduire d'autre de ces échantillons sinon que $t_a + t_p = H_d - H'_1$.

8.2.4. Cas de la figure 2 d (brassage insuffisant)

Cette dispersion caractéristique des échantillons prélevés en RG, au milieu et en RD indiquent clairement que le brassage est insuffisant.

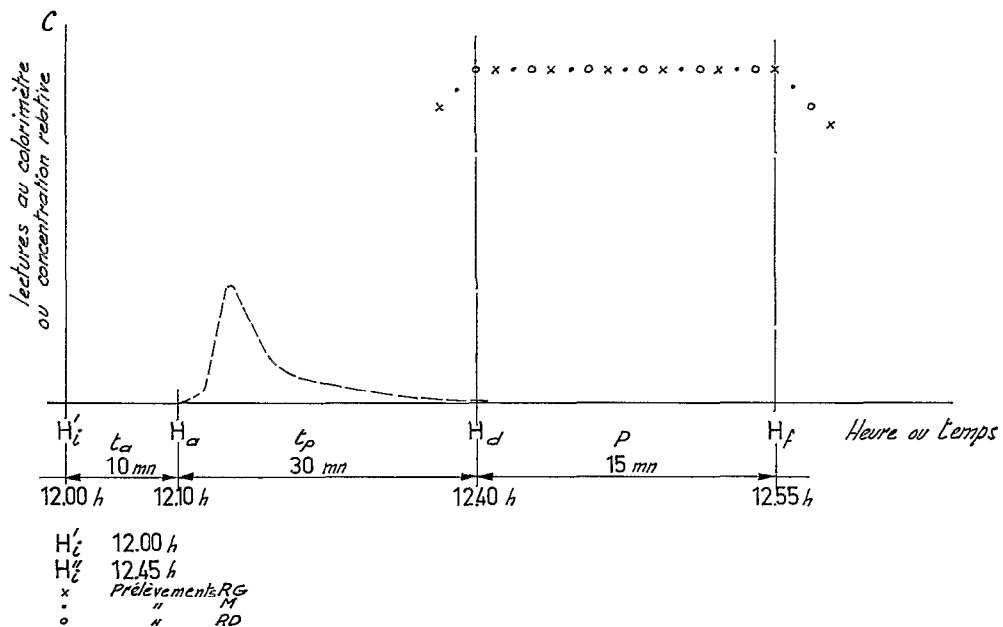


Fig. 3

Il faut allonger le bief ou le déplacer, ou encore déplacer le point d'injection ou le point de prélèvement ou les deux.

D'autre part on ne peut pas, d'après ces résultats, préciser les temps de passage réels puisque H_a et H_f n'apparaissent pas nettement.

Le débit de l'oued semble constant ainsi que le débit d'injection.

Si la dispersion n'est pas trop importante entre les échantillons RG et RD et si ceux-ci ont effectivement été prélevés réellement en RG au milieu et RD, équitablement par rapport à la section mouillée, alors on pourra tenter de faire la moyenne et calculer le débit, tout en le considérant comme douteux jusqu'à plus ample confirmation.

8.2.5. Cas de la figure 2 e (pas de palier)

Ce graphique, issu des résultats des prélèvements, indique que malgré une injection constante le palier n'a pas été obtenu. Deux causes possibles à cela :

1. ou bien l'injection a été d'une durée insuffisante
2. ou bien le point de prélèvement a été choisi trop loin.

8.2.6. Cas de la figure 2 f (forte dispersion)

La dispersion des résultats tendrait à prouver que l'opérateur éprouverait le plus grand bien à effectuer un stage dans un service spécialisé ! Si toutefois il a déjà effectué ce stage alors la position des points de ce graphique indique qu'il est certainement doué... pour faire autre chose.

8.3. EXEMPLES DE DISTANCES UTILISÉES

Le tableau ci-contre donne à titre indicatif quelques distances entre le point d'injection et le point de prélèvement en fonction du débit d'après des mesures réelles.

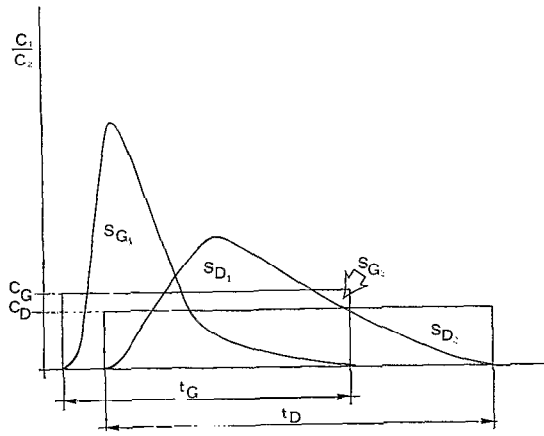
Cours d'eau	Q en m ³ /s	Profondeur en m	Vitesse moyenne en m/s	Moyenne largeur en m	I. P. Distance en m	Observations
Mangoro	200	6	0,300	100	3 000	D'aspect très calme, pas de zone d'eau morte. Quelques coudes à grande courbure.
Sisaony	8	0,3	0,400	60	2 000	Bancs de sable submergés. Pas de bon brassage latéral sur 2 000 m et apport ensuite. Injection 3 h.
Betsiboka	2 200	2 à 3	2 à 3	200 à 400	2 900	Rapides — chutes.
Sahatandra (affluent de)	0,8		0,1			Forêt tropicale écoulement très lent méandres.
Du Plessis	0,073 0,075				20 100	Torrentiel — bon brassage » »
Oum er Rbia	26 14				500 350	» » » »
Ahancal	4				300	» »
El Abid	15 15				450 750	» » » »
Canal d'Afourer	10	1	3	3	420	Section trapézoïdale. Temps d'arrivée 2 mn. Temps de passage 1 mn.
Derna	0,530				200	Bon brassage.
Foughal	0,300				200	» »
Bouregreg	3,81				400	» »
Rherayat	0,38				100	Brassage légèrement insuffisant.
Bouregreg	44 22 39				300 300 300	Déversoir saut de ski très bon brassage.
Zat	1,5				250	Brassage insuffisant.
Oum er Rbia	13				2 000	Galerie section 25 m ² , Ø 5,70. Méthode globale : 45' pour arriver, 10' pour passer.
Ourika	1,2				200	Bon brassage.
Souss	1,9				300	» »
Reghaya	2,23				200	» »
Bouregreg	1,09				200	» »
Océan Atlantique eau de refroidissement	3,29				220	Conduite Ø 2,40, brassage peut-être très légèrement insuffisant.

Rappel

Distance de bon mélange en conduite \geq à $75 \times \varnothing$ (égale ou supérieure à 75 fois le diamètre de la conduite).

On peut également avoir la preuve que le bon mélange a été obtenu même lors d'une injection ponctuelle du bichromate en effectuant deux prélèvements (continu ou point par point) l'un en RG, l'autre en RD. Si le débit trouvé est le même, c'est qu'il y a eu bon brassage (cf. fig. 4).

L'injection ponctuelle avec un seul prélèvement continu moyen n'indique ni le bon brassage ni si les temps ont été bien choisis. Cette méthode est à employer seulement lorsque l'on connaît bien le bief et les temps de passage (cf. fig. 5 a).



$S_{G_1} = S_{G_2}$
 $S_{D_1} = S_{D_2}$
 $S_G = S_D$
 $C_G > C_D$
 $t_p > t_G$
 $Q_G = \frac{V}{t_G} C_G = \frac{V}{t_D} C_D = Q_D = \text{bon mélange}$

Fig. 4

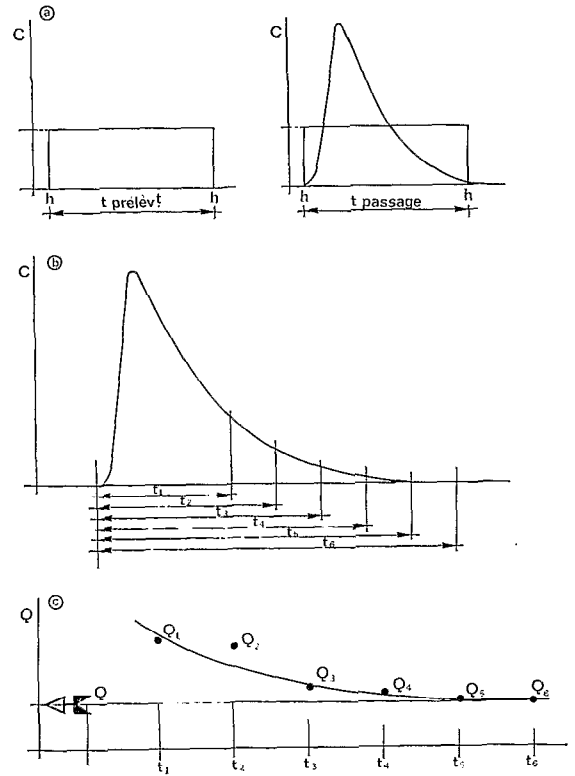


Fig. 5

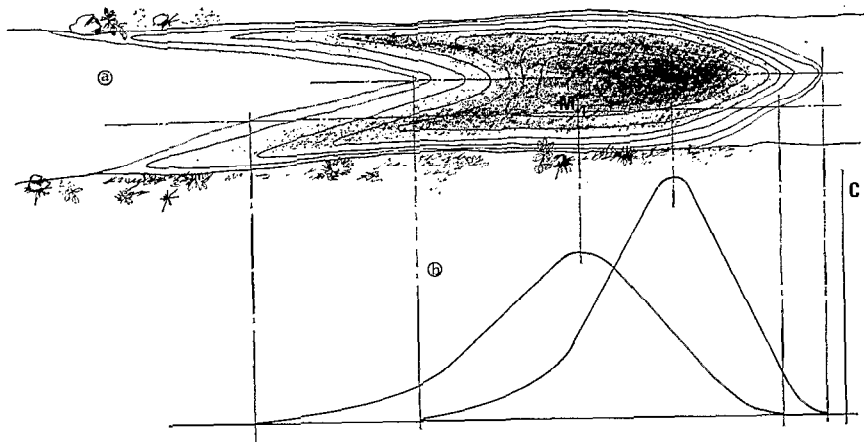


Fig. 6

L'injection ponctuelle, avec prélèvements pris très exactement au même point, mais conservés et analysés séparément, permet de déterminer les temps d'arrivée et de passage mais n'indique pas s'il y a bon brassage (fig. 5 b).

L'injection ponctuelle avec 5 ou 6 prélèvements moyens, séparés, vers la fin du passage, mais commencés en même temps, permet de constater si l'on a prélevé suffisamment longtemps mais ne démontre pas que le bon mélange a été réalisé ni que l'on a débuté le prélèvement au bon moment. Elle évite cependant l'accident, toujours possible, de traiter un seul échantillon moyen avec les risques que cela comporte (fig. 5 c).

Nous avons représenté (sur la fig. 6 a) les courbes d'isoconcentration imaginaires d'un nuage salin se déplaçant dans un cours d'eau. M_1 est le point de prélèvement près de la rive gauche, M_2 est le point de prélèvement situé à peu près au centre de la section mouillée. En projection (fig. 6 b) nous retrouvons les coupes, toujours imaginaires, du défilement des concentrations à ces points M_1 et M_2 situés là, en coïncidence avec le maximum de concentration.

9. EXEMPLE DE DÉROULEMENT D'UN JAUGEAGE

9.1. MESURES SUR LE TERRAIN

A titre d'exemple nous reproduisons ci-après un jaugeage réellement effectué au cours d'une démonstration. Il s'agit d'un petit jaugeage en eau très limpide, traité par injection ponctuelle (globale) prélèvements en deux points, l'un à débit constant réparti en 6 prélèvements commencés au même instant mais arrêtés à des temps différents, l'autre en prélèvement dit « point par point » conservés séparément.

Après une reconnaissance facile nous décidons des points d'injection et de prélèvements. La micropompe est installée en MP à 300 m en aval du point d'injection sur la même rive (RG). Elle est mise en fonctionnement afin de permettre au moteur (d'essuie-glace) de chauffer et d'atteindre un rendement constant.

Estimé à 2,5 m³/s pour le débit, à 25 mn le temps de passage et à 35 mn le temps de prélèvement par sécurité, l'essai fluorescéine est escamoté. Il sera néanmoins fait 1 mn avant l'injection de bichromate à titre de signal pour les prélèvements.

Le poids de sel est ainsi calculé : 2 500 l/s pendant 2 100 secondes représentent le volume de 5 250 000 litres. A une concentration moyenne de 0,3 mg/l cela fait 1 575 000 mg de sel, soit 1,6 kg environ.

Nous avons à notre disposition de la solution concentrée à 600 g par litre. Trois litres, soit environ 1,8 kg de bichromate, couvriront une erreur par défaut sur l'estimation du débit.

Après les injections (fluo puis bichro) l'opérateur va à 320 m en aval en RD où il se prépare à prélever des échantillons, à des temps connus à quelques secondes près, de préférence à intervalle constant, pendant toute la durée du passage du nuage bichromaté et même pour plus de sécurité un peu avant et largement après. Il va conserver ces échantillons séparément.

L'autre opérateur est à la micropompe. S'il y avait eu un troisième homme il aurait pu effectuer un prélèvement « moyen » en prélevant à cadence suivie et très régulière un petit volume à l'aide d'un tube à essai en plastique tronqué (environ 7 à 8 cm³) qu'il verse dans une bonbonne sèche et propre. Les premières particules visibles de fluorescéine sont arrivées à environ 9 h 25 (le bichromate à 9 h 26, par conséquent, puisqu'il a été injecté une minute plus tard).

Tous les opérateurs, y compris le troisième, s'il avait été là, ont ou auraient commencé un peu avant l'arrivée visible des premières particules les plus rapides du bichromate soit pratiquement à 9 h 25 suivant leurs positions et l'arrivée de la fluorescéine observée à leur point de prélèvement.

Chaque opérateur prélève très exactement au même endroit dans une zone de courant près de la berge dans un endroit qu'il a choisi aussi confortable que possible car les prélèvements durent souvent entre 30, 60 mn et quelquefois plus. Pas de position acrobatique si possible.

Les derniers prélèvements sont arrêtés à 10 heures ce qui, dans ce cas-là, est tout de même un peu tardif puisque la fluorescéine visible a disparu à 9 h 37 soit le bichromate à 9 h 38 (s'il avait eu la même densité optique que la fluorescéine). En majorant encore de dix bonnes minutes pour tenir compte de « la queue » (traîne du traceur) que l'œil ne discerne plus, cela aurait conduit à un arrêt des prélèvements correct vers 9 h 30.

Rappelons que l'essai fluorescéine n'a pas été fait comme il convient normalement de le faire.

9.2. DÉPOUILLEMENT AU LABORATOIRE

Le dépouillement a été effectué dès le retour, le même jour que la mesure sur le terrain.

9.2.1. Calcul des dilutions

Pour les prélèvements effectués avec la micropompe les dilutions attendues, D, pour une estimation du débit de 2 500 l/s et un volume injecté de 3 l, sont de :

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

D = dilution estimée

V = volume injecté en litres

T = temps de prélèvement en secondes

Q = débit estimé en l/s

Soit pour T_1 (prélèvement arrêté le premier)

$$D = \frac{3}{600 \times 2\,500} = \frac{3}{1\,500\,000} = \frac{1}{500\,000}$$

et pour T_6 (prélèvement arrêté le dernier)

$$D = \frac{3}{2\,100 \times 2\,500} = \frac{3}{5\,250\,000} = \frac{1}{1\,750\,000}$$

soit une concentration de $5,7 \times 10^{-7}$

Les dilutions extrêmes estimées sont donc de :

$$\frac{1}{500\,000} \text{ à } \frac{1}{1\,750\,000}$$

Suivant que l'on admet une erreur plus ou moins importante sur l'estimation possible du débit on prendra encore une marge de sécurité correspondante, pour choisir les dilutions témoins à effectuer.

Par exemple de 1/300 000 à 1/280 000 si l'on pense que le débit peut être aussi bien de 1 500 l/s que de 4 000 l/s.

$$\frac{3}{600 \times 1\,500} = \frac{3}{900\,000} = \frac{1}{300\,000}$$

$$\frac{3}{2\,100 \times 4\,000} = \frac{3}{8\,400\,000} = \frac{1}{2\,800\,000}$$

La gamme de dilutions témoins doit comporter entre 5 et 10 points. On fera par exemple : 1/300 000, 1/400 000, 1/600 000, 1/800 000, 1/1 000 000, 1/1 300 000, 1/2 000 000 et 1/2 800 000.

Cette gamme, rappelons-nous, serait valable pour couvrir les prélèvements à la micro-pompe T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 et T_6 .

Mais il y a les prélèvements en point par point séparés qui vont de l'eau pure à la concentration maximum du passage du nuage salin. Il est impossible d'estimer quelle sera, même approximativement, la dilution (ou concentration) du maximum de la courbe en cloche.

Au stade où nous en sommes tout ce que l'on peut prévoir avec certitude, c'est que cet échantillon sera encore plus concentré que T_1 estimé à $\frac{1}{300\,000}$ (pour un débit de 1 500 l/s). On pourra donc prévoir des points voisins de 1/100 000 ou 1/200 000 pour les témoins les plus concentrés. De l'autre côté, vers les dilutions les plus grandes, voisines d'une concentration nulle, il faut connaître la sensibilité du colorimètre dans sa plage efficace. 1/4 000 000 soit $2,5 \times 10^{-7}$ représente déjà une concentration assez faible compte tenu que « le blanc », c'est-à-dire l'eau du cours d'eau, sans traceur, mais ayant subi rigoureusement le même traitement que les autres prélèvements ou témoins, sera passé au colorimètre et donnera le point égal à la concentration O (ce point n'a pas été fait lors de cette

démonstration). Ce n'est pas recommandable, car en plus, il peut détecter la présence de bichromate intempestif dans le cours d'eau.

Suivant les raisonnements évoqués ci-dessus la gamme de dilution a donc été faite entre 1/200 000 et 1/4 000 000.

L'étalonnage du colorimètre, en fonction des différentes concentrations qui lui sont présentées, va donner la courbe représentée à la figure 7. Les dilutions ont été faites à l'aide de la micro-burette AGLA et nous donnons à titre d'exemple les calculs pour une dilution faite à l'AGLA et, la même, faite avec des pipettes. (La concentration relative est l'inverse de la dilution.)

Exemple pour une dilution de 1/800 000 soit une concentration de $1,25 \times 10^{-6}$. A l'aide des pipettes et ballons de précision : On prend 10 cm³ de la solution mère injectée que l'on met dans un ballon de 1 000 cm³. On complète avec de l'eau du cours d'eau jusqu'à 1 000 cm³. Après avoir bien agité cette solution on soutire 50 cm³ que l'on met dans un ballon de 500 cm³ (ou 100 dans 1 000 ou 25 dans 250, etc.), on poursuit les fractionnements jusqu'à obtenir la dilution finale désirée.

$$SM \times \frac{10}{1\ 000} \times \frac{50}{500} \times \frac{25}{2\ 000} \times \frac{25}{250} = \frac{312\ 500}{25 \times 10^{10}} = \frac{1}{800\ 000}$$

Avec la micro-burette AGLA on prépare, à partir de la solution mère, une solution diluée à $\frac{25}{500} \times \frac{10}{1\ 000}$ que l'on met dans la seringue et l'on délivre 5 tours de palmer dans 20 cm³ d'eau du cours d'eau soit :

$$SM \times \frac{25}{500} \times \frac{10}{1\ 000} \times \frac{5 \times 0,01}{20} = \frac{12,5}{10 \times 10^6} = \frac{1}{800\ 000}$$

1 tour d'agla = 0,01 cm³.

Les échantillons prélevés séparément en point par point et ceux de la micro-pompe sont également présentés au colorimètre.

9.2.2. Calcul du débit

Voyons maintenant les calculs qui vont conduire au débit.

Tout d'abord les prélèvements de la micro-pompe. Leurs lectures au colorimètre sont présentées sur la courbe des dilutions témoins et vont déterminer la concentration relative pour chacun d'entre eux. Exemple pour T₄, lecture 105, C_r $1,10 \times 10^{-6}$.

On calcule ensuite les débits pour chaque prélèvement et l'on trace la courbe (comme représenté fig. 8) des débits en fonction du temps. Le débit à retenir est celui qui tend vers l'asymptote.

Les débits sont calculés avec $\frac{V}{T \cdot C} = Q$

V le volume injecté en litres

T temps de prélèvement en secondes

C concentration relative.

ou $\frac{V \cdot D}{T}$ si l'on a fait la courbe d'étalonnage du colorimètre en fonction des lectures et des dilutions D.

Passons maintenant aux échantillons prélevés séparément. Cette méthode est rarement utilisée dans les mesures courantes. Elle présente toutefois des avantages. Elle permet d'extrapoler si les prélèvements ont été commencés un peu tardivement ou arrêtés trop tôt. Elle précise les temps exacts de l'arrivée et de la disparition du traceur, ce qui sera utile pour les jaugeages ultérieurs à cette station. On peut éliminer les échantillons mauvais ou inutiles. Par contre elle nécessite une gamme de dilution étendue, donc moins précise parce que débordant plus ou moins de la zone efficace du colorimètre et elle impose un traitement important d'échantillons séparés.

Les concentrations relatives de chaque prélèvement, correspondant à leurs réponses au colorimètre, sont portées en fonction du temps. La courbe « en cloche » apparaît donnant l'allure générale du passage du nuage salin, observé au point de prélèvement.

Le débit est calculé de la façon suivante :

$$Q = \frac{V}{S} \quad S = S_1 \times \frac{a \cdot b}{P}$$

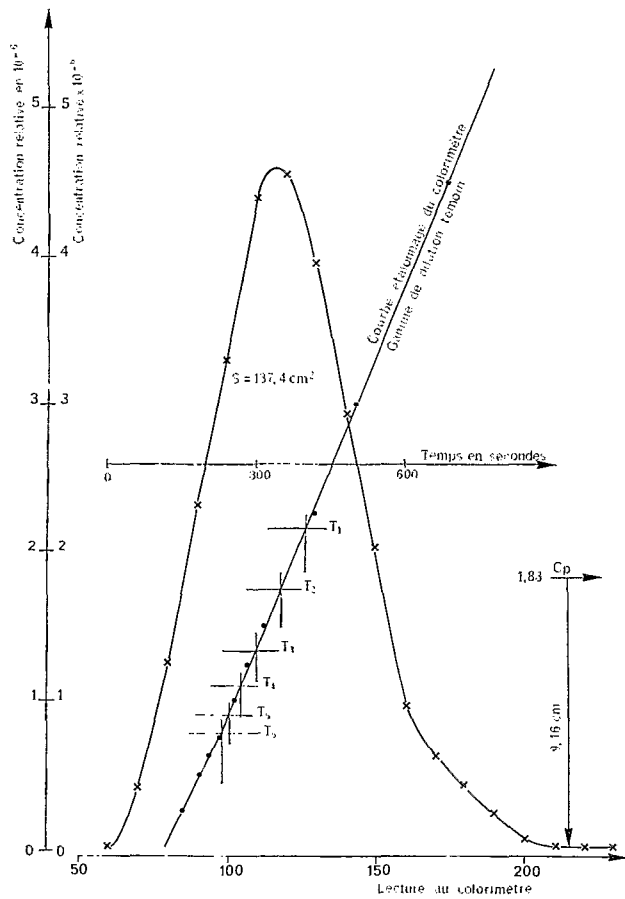


Fig. 7

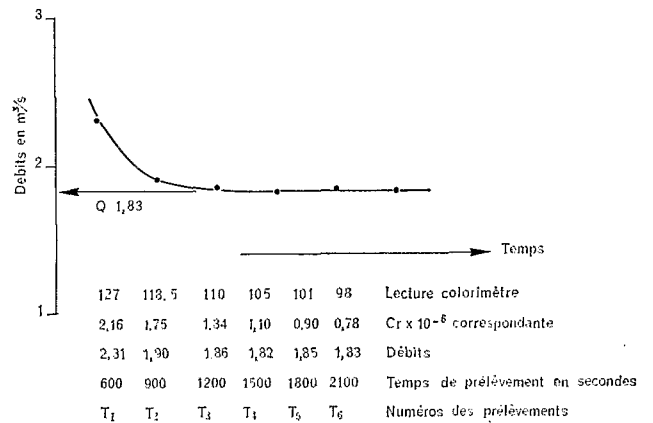
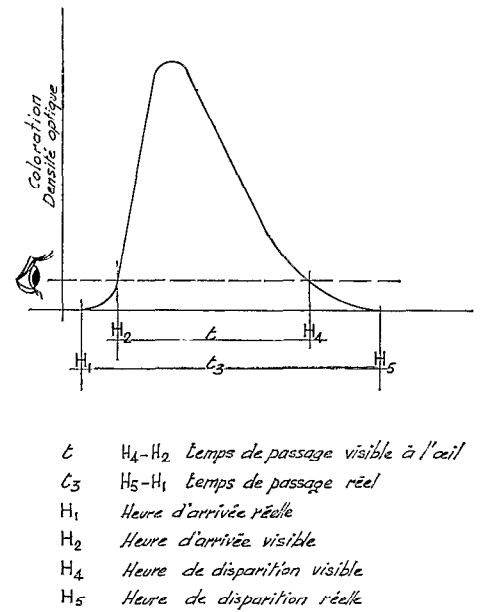


Fig. 8



t $H_4 - H_2$ Temps de passage visible à l'œil
 t_3 $H_5 - H_1$ Temps de passage réel
 H_1 Heure d'arrivée réelle
 H_2 Heure d'arrivée visible
 H_4 Heure de disparition visible
 H_5 Heure de disparition réelle

Fig. 9

avec S_1 = la surface de la cloche planimétrée en cm^2

a = la valeur de l'échelle des temps en secondes pour 10 cm

b = la valeur de l'échelle des concentrations pour 10 cm

P = la surface de référence planimétrée sur un carré de 10×10 cm sur le diagramme utilisé. Ce terme correcteur va tenir compte, en plus de la distorsion du quadrillage, de l'erreur du planimètre.

Pour ce jaugeage l'application numérique est :

$$S = 137,4 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 600}{100,1} = 0,0016488$$

$$Q = \frac{3}{0,0016488} = 1\,819 \text{ l/s}$$

On peut également chercher la concentration moyenne en divisant la surface en centimètres carrés par la base, 14 cm, ce qui donne 9,16 cm. Cette distance portée sur l'échelle des concentrations situe la concentration moyenne à $1,83 \times 10^{-6}$.

$$Q = \frac{V}{T \cdot C} = \frac{3}{900 \times 1,83 \times 10^{-6}} = 1\,821 \text{ l/s}$$

« Le troisième homme » aurait certainement trouvé 116 (soit 1,64 en concentration) en passant son échantillon moyen au colorimètre s'il avait prélevé pendant par exemple 1 000 secondes.

$$Q = \frac{V}{T \cdot C} = \frac{3}{1\,000 \times 1,64 \times 10^{-6}} = 1\,829 \text{ l/s}$$

On aurait pu également mélanger, à volume égal, les échantillons séparés et obtenir un échantillon moyen. Cela est possible sous deux conditions :

1. que les espaces de temps entre deux prélèvements ne soient pas trop grands, et
2. qu'ils soient égaux.

10. LES TEMPS DE PROPAGATION

10.1. DÉTERMINATION DES TEMPS

Après une reconnaissance sérieuse qui tiendra compte des accès, des pertes, des apports, des coudes, des bras, des zones d'eau plus ou moins stagnantes, etc. un bief est choisi. Dans le cas qui nous intéresse le bief est le tronçon du cours d'eau compris entre le point d'injection et le point de prélèvement (ou la section de prélèvement).

Il faut alors déterminer deux périodes :

1. Le temps mis par les particules les plus rapides d'un traceur entre le point d'injection et le point de prélèvement. C'est le temps de « propagation » ou « d'arrivée » (1).
2. Le temps mis, suite à une injection ponctuelle, par le nuage d'un traceur, à passer au point de prélèvement. C'est le temps de « passage ».

10.2. EN PRÉSENCE D'EAU CLAIRE

En présence d'eau claire et avec un peu d'habitude la fluorescéine, type hydraulique, indique assez nettement ces temps.

On n'injecte jamais la fluorescéine en poudre directement dans le cours d'eau mais toujours en solution.

Même en eau claire « la disparition » visible à l'œil de la fluorescéine observée au point de prélèvement n'est jamais très nette. Observer alors les zones d'eau stagnante situées aux environs et tenir compte dans les temps finalement adoptés que l'œil ne décèle la coloration qu'à partir d'une certaine concentration (cf. fig. 9).

(1) Le temps de propagation ne peut être que supérieur à la longueur du bief divisée par la moyenne des vitesses maximales le long du bief.

JAUGEAGE PAR DILUTION

STATION : ENGELINS N° IRE : _____
 OUED : FURONS N° IRE : _____

DECANTATION - FLOCCULATION - FILTRATION - RECONCENTRATION X _____
 DILUTION : Injection constante $\frac{V}{Q}$ = $\frac{3}{525000}$ = 5.7×10^{-7} - CR = 5.7×10^{-7} attendu
 ATTENDUE Injection globale Q : _____
 OPERATEUR DILUTIONS : Thiébaux DATE : 7-2-67 HEURE : 15

N°/I	AGLA	2	4	5	6	7	8	10	12	18	24	26
K		0.125										

OPERATEUR COLORIMETRIE : A. DATE : 7-2-67

C	FRANS.	0.250	0.500	0.625	0.750	1	1.25	1.5	2.25	3	4.5
O	L	O									
O	ABSOR.	85	90.75	93.50	97	102.25	106.5	112.25	127.25	143.75	174.5

BOITES PRELEVEMENT N°S : 14
 BONNONES D'EAU OUED N°S : global
 MATERIEL INJECTION : AP
 MATERIEL PRELEVEMENT : PRP

HEURE : 9.25 MINUTES : 9 SECONDES : _____
 ARRIVEE : 9.37
 DISPARITION : 9.17
 DEBUT INJECTION : _____
 FIN INJECTION : _____
 DEBUT PRELEVEMENT : 9.25 T = 27.00
 FIN PRELEVEMENT : 9.52

ESTIMATION DEBIT OUED : 0 L/s
 VOLUME Q x T (global) : 2500 x 27.00
 POIDS DE SEL A INJECTER a : 9.3 mg/l
 VOLUME SOLUTION INJECTE : V
 CONCENTRATION APPROXIMATIVE : _____ Solution mère : _____
 DEBIT INJECTION q : _____ Ajustage n° : _____

N°S	HP											
LIEU												
Heure												
N°S	HP	1	2	3								
LIEU												
Heure												

PRELEVEMENTS

N°S	HP											
LIEU												
Heure												
N°S	HP	1	2	3								
LIEU												
Heure												

SCHEMA DES LIEUX

Cotes lues : _____
 Heure : _____
 OPERATEURS : Lusiez (Fils) Thiébaux DATE : 7-2-67

DATE : _____
 DE LA : _____
 MESURE : _____

DEBIT : _____ COTE : _____ HEURE : _____
 COTE : _____ HEURE : _____

FIN : _____ COTE : _____ HEURE : _____
 EN : _____ m³/s

COLORIMETRE : Jahn REGLAGE INITIAL : 70
 EAU EMPLOYEE : Eurochem PH : _____
 LECTURE MOYENNE en TRANSMISSION : _____ en ABSORPTION : _____
 K MOYEN en 10 : _____ en 1 : _____
 Injection Constante = $\frac{V}{Q}$
 Injection Globale = $\frac{V}{T.K}$

Ordre de grandeur du temps de passage réel de la fluorescéine par rapport au temps de passage visible en eau claire.

$$t_3 = t + \frac{t}{4} \text{ en conduite ou canaux}$$

$$t_3 = t \times 3 \text{ en cours d'eau très lent}$$

$$t_3 = t \times 2 \text{ en cours d'eau classique type torrents de montagne}$$

$$t_3 = t + \frac{t}{2} \text{ en torrent ne comportant pas de zone d'eau calme.}$$

10.3. EN PRÉSENCE D'EAU CHARGÉE

En présence d'eau sale la détermination des temps de propagation et de passage devient un véritable problème.

La fluorescéine ne se voyant évidemment plus il ne reste que les flotteurs, des estimations et un peu de chance.

Il faut des corps flottants bien visibles, qui ne s'accrochent pas, qui n'aient pas de prise au vent et qui ne se confondent pas avec tous ceux qui passent naturellement en crue. Le problème n'est pas si simple qu'il pourrait y paraître.

Des bidons de 2 l d'huile moteur peints en blanc et rouge, lestés de sable ou de brai, nous ont quelquefois donné satisfaction.

Evidemment on base les calculs sur le premier flotteur observé au lieu de prélèvement. Les autres ont forcément été retardés s'ils ont tous été jetés ensemble.

Cela indique le temps de propagation uniquement en espérant encore que celui repéré était bien le premier et qu'il a effectivement emprunté toujours les courants les plus rapides.

D'après ce temps observé, il faudra en déduire à l'estime les autres temps et c'est là que l'expérience est utile. On prend des marges de sécurité en majorant ou en minorant.

Après deux ou trois jaugeages à une même station et pour des débits différents on peut commencer à construire un graphique des temps qui sera par la suite très utile.

Les temps sont alors déterminés de façon très précise surtout si l'on a procédé à des jaugeages par injection continue et si l'on a prélevé avant, pendant et après le palier (cf. fig. 10 et 11).

11. COMMENT MENER LES CALCULS ET LES RAISONNEMENTS

Ce chapitre ne ressemblant en rien à un roman passionnant il sera peut-être mieux suivi à l'aide d'un papier et d'un crayon.

Chaque jaugeage difficile est un cas particulier. Cet exemple est celui que nous avons élaboré pour le Nekor dans le Rif à la station de Tamellaht pour un débit supposé de 1 000 m³/s. Le bassin versant est de 685 km², la crue de projet a été estimée à 6 800 m³/s. Les intensités peuvent être très fortes ainsi que la pente. A partir de 100 m³/s les jaugeurs rencontrent des difficultés avec la station téléphérique et détériorent systématiquement les moulinets hydrométriques.

Nous envisageons une intervention en dilution. La reconnaissance préliminaire a eu lieu alors que l'oued serpentait bien sagement à 1 ou 2 m³/s.

Sur la carte, le bief est d'autorité imposé par les apports RD et RG et le débit à contrôler, c'est-à-dire celui qui passe effectivement à la station (cf. fig. 12). Le bief est de 5 km environ. Les vitesses maximales mesurées au moulinet à la station sont de 3,72 m/s (pour 80 m³/s). On peut penser que pour 1 000 m³/s, elles seront supérieures à 4 m/s (voisines de 5 m/s).

La vitesse de propagation d'un traceur est toujours inférieure à la moyenne des vitesses maximales dans le bief. Les particules qui ont été véhiculées pendant un certain temps par les courants rapides peuvent céder la place à d'autres, etc.

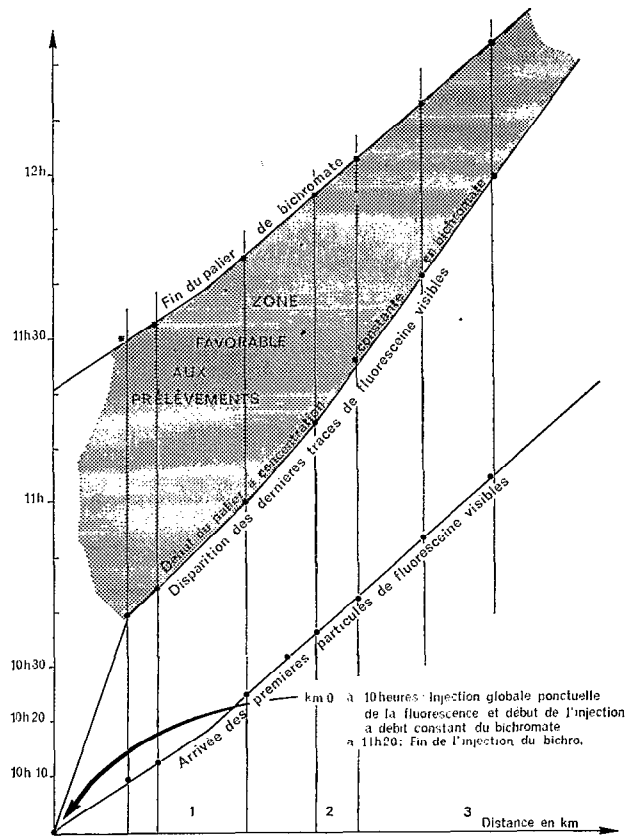


Fig. 10. — Haut Sébou Ait Youb. Propagation pour $10 \text{ m}^3/\text{s}$

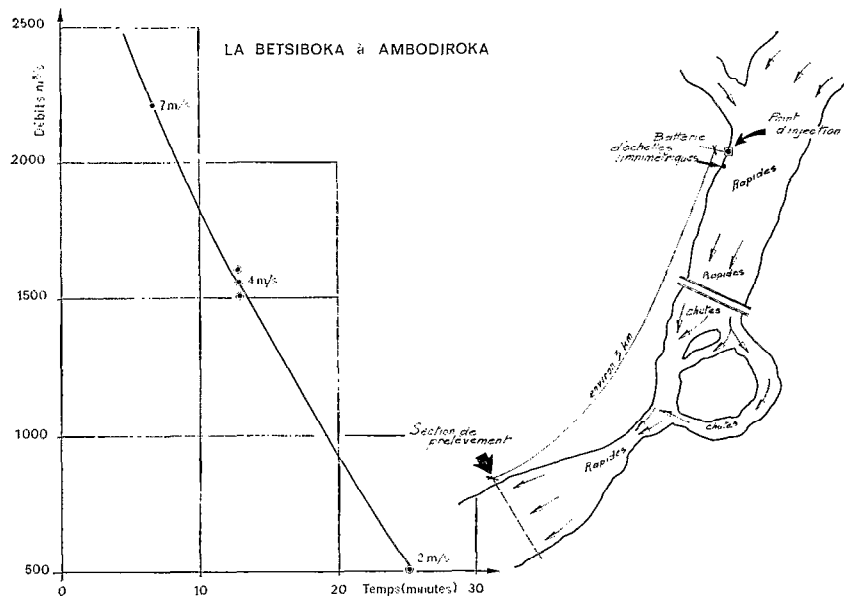


Fig. 11. — Temps de propagation entre le lieu d'injection et la section de prélèvements en fonction du débit

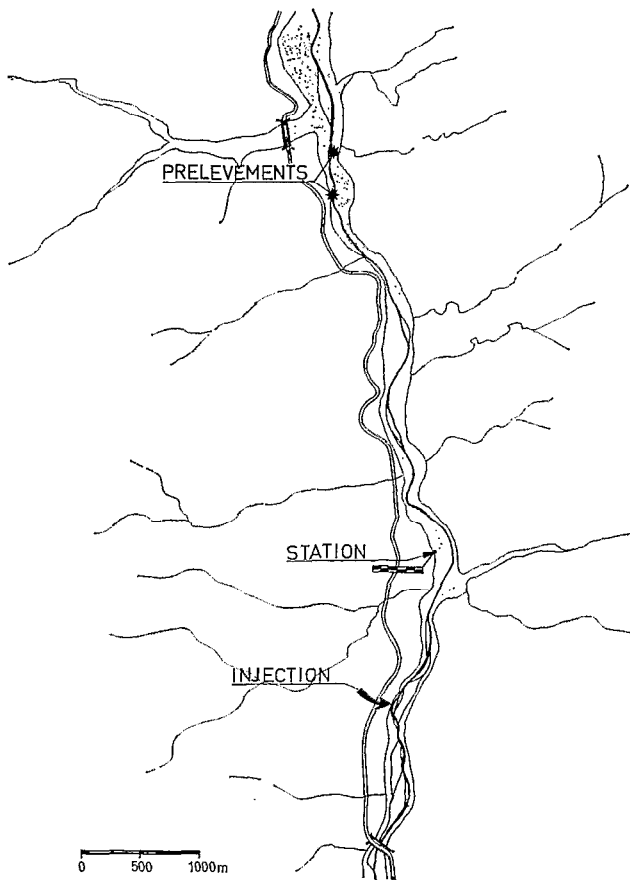


Fig. 12

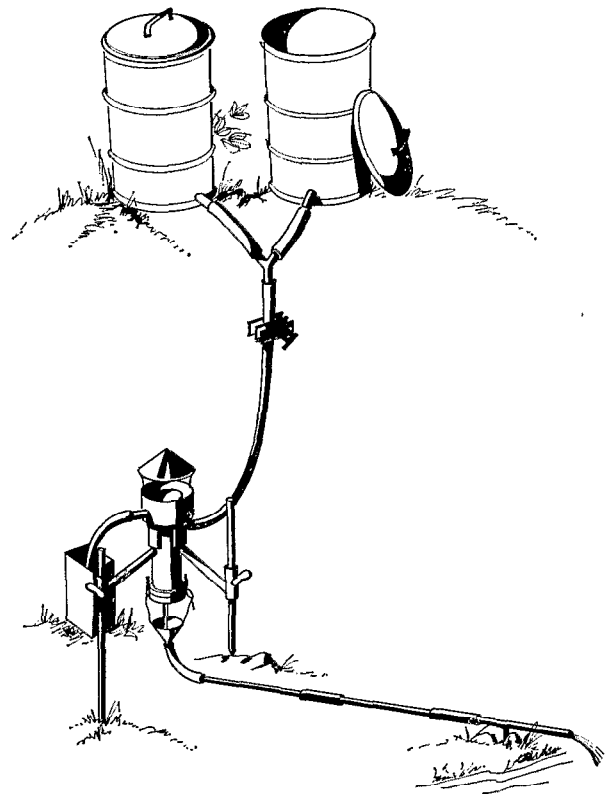


Fig. 13

Le temps d'arrivée ou temps de propagation pourrait être de l'ordre de :

$$\frac{5\,000\text{ m}}{4\text{ m/s}} = 1\,250\text{ secondes soit } 20\text{ mn}$$

11.1. DÉTERMINATION DU TEMPS D'INJECTION ET DU POIDS DE BICHROMATE

Le temps de passage est beaucoup plus difficile à estimer. Il s'agit là, du temps de passage au point de prélèvement, d'une injection ponctuelle (globale). Cela dépend des zones d'eau qui vont piéger le traceur et le relâcher tardivement, faisant traîner la queue. Bien difficile à imaginer ce que feront 1 000 m³/s alors que l'on en contemple 1 ou 2.

Une heure de temps de passage paraît faible, deux heures peut-être beaucoup compte tenu de l'aspect du lit majeur, alors... 1 h 30 ?, soit 5 400 secondes.

Si l'on envisage d'effectuer une mesure en injectant à débit constant, la durée du palier, c'est-à-dire le temps pendant lequel la concentration est constante et homogène dans toute la section de prélèvement, est comptée généralement égale à 15 mn lors de jaugeages normaux. Il est prudent dans le cas présent de majorer le temps supposé du palier et de passer à 1 heure.

La durée de l'injection, toujours égale au temps de passage, plus le temps souhaité du palier serait donc de 2 h 30.

Prenons encore un coefficient de sécurité, compte tenu des estimations très approximatives, et portons la durée de l'injection à 3 heures.

Le volume total écoulé dans l'oued pendant 3 heures en supposant que le débit 1 000 m³/s soit bien de 1 000 m³/s et qu'il reste constant, sera de :

$$3 \times 60 \times 60 \times 1\,000\,000 \text{ l/s} = 10\,800\,000\,000 \text{ l}$$

Si le colorimètre admet des concentrations de 1 mg par litre il faudra donc injecter 10 800 000 000 mg soit 11 tonnes de bichromate. Mais nous disposons d'un spectrophotomètre qui passe bien des solutions à 0,3 mg/l.

Le poids de bichromate se trouve ainsi ramené à 3 300 kg. il est difficile et coûteux d'injecter plus de 3 tonnes de traceur, il faudrait une cuve de 6 m³ pour injecter une solution à 500 g/l, on va donc envisager une « reconcentration » au laboratoire.

Reconcentrer dix fois, conduit à un poids de sel à injecter de 330 kg mais nous ne disposons que de 2 fûts de 200 l branchés en parallèle, soit 400 l. On pourrait dissoudre 330 kg de sel dans 400 l d'eau mais il faudrait de l'eau chaude et une température ambiante durant l'injection supérieure à un bon 25° pour ne pas risquer la recristallisation du sel qui se précipiterait alors au fond des cuves et provoquerait une injection à concentration variable.

Une reconcentration portée à quinze fois nécessite 220 kg, soit une solution à environ 550 g/l, mais il faut penser que l'on va « perdre » du traceur par fixation, absorption, décantation, filtration, etc., et que les échantillons ne seront alors plus à 0,3 mg/l, d'où majoration du poids de 30% environ.

C'est finalement 300 kg (286) de bichromate que nous tenterions de mettre en œuvre, compte tenu des raisonnements que nous avons volontairement détaillés ci-dessus.

L'ajutage à choisir est fonction du temps d'injection décidé et du volume de solution, soit :

$$\frac{400\,000 \text{ cm}^3}{10\,800 \text{ s}} = 37 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Evidemment nous n'avons pas un ajutage qui permettra d'injecter 37 cm³, mais le Ø 4 qui fait 20,43 cm³/s et le Ø 6 de 48,58 cm³/s. Le 6 donne pour 400 l de volume à injecter 2 h et 17 mn de durée d'injection.

$$\frac{400\,000}{48,58} = 8\,234 \text{ s, soit } 137 \text{ mn, soit } 2 \text{ h } 17 \text{ mn}$$

Le diamètre 4, avec son débit de 20,43 cm³/s, porte la durée d'injection à 5 h et 26 mn. On pourrait réduire le volume à injecter mais cela augmente la concentration de la solution mère déjà considérée comme maximale.

Le diamètre 6, avec son débit de 48,58 cm³/s, ne procure pas les 3 heures d'injection souhaitées. On pourrait augmenter le volume à injecter sans changer le poids de bichromate, mais le problème matériel des cuves réapparaît. On se souvient que l'on a majoré de 30 mn le temps d'injection. C'est pour cette raison que l'on va choisir le diaphragme n° 6 au débit de 48,58 cm³/s.

Le temps d'injection prévu initialement à 3 heures sera maintenant de 2 h 17 mn. Il faut, par conséquent, refaire les calculs du poids de bichromate à injecter soit :

Volume dans l'oued :

$$8\,234 \text{ s} \times 1\,000\,000 \text{ l/s} = 8\,234 \times 10^6 \text{ l.}$$

Poids de bichromate à 0,3 mg/l et reconcentré 15 ×.

$$\frac{8\,234 \times 10^6 \times 0,3}{15} = 164\,000\,000 \text{ mg soit } 164 \text{ kg.}$$

Majoration de 30% pour perte :

$$\frac{164 \times 30}{100} = 49 \text{ kg.}$$

Poids total :

$$164 + 49 = 213 \text{ kg.}$$

$$\text{soit } \frac{213\,000}{400} = 532 \text{ g/l.}$$

On constate que la concentration de la solution mère sera alors voisine de 532 grammes par litre et que l'on pourrait revenir à une reconcentration de 10 fois au lieu de 15. Mais restons-en là. C'est cette reconcentration à $10 \times$ qui serait effectivement retenue sur le terrain mais pour simplifier l'exposé (il faudrait reprendre tous les calculs), on conservera $15 \times$ dans la suite du texte.

11.2. CHRONOLOGIE DES DIFFÉRENTES OPÉRATIONS

Abordons maintenant les raisonnements chronologiques à suivre pour déterminer les heures des différentes opérations à effectuer et donner des consignes précises à tous les opérateurs du jaugeage que l'on va lâcher dans la nuit, car il fera nuit, évidemment.

L'heure H, début d'injection, tiendra compte des délais de mise en place des équipes de prélèvement et de tout le dispositif. Prévoir large, mais pas trop, car la crue serait passée ! Tous les opérateurs synchronisent leur montre à quelques secondes près.

Dans le cas présent, si l'on dispose d'un personnel suffisant et du matériel de prélèvement correspondant on fera, par sécurité, plusieurs sections de prélèvements. Par exemple, un opérateur sur chaque rive et un autre en zodiac.

Pour simplifier cet exemple on conservera, à chacun des préleveurs, les mêmes heures de début et de fin de prélèvement.

Admettons que l'heure H du début de l'injection soit décrétée être à 0 h 00. L'heure de la fin de l'injection sera 2 h 17. L'heure d'arrivée aux points de prélèvement 0 h 20. Le début du palier à 1 h 50, la fin du palier à 2 h 37, soit un palier de 47 minutes.

Afin de parer à toutes les erreurs possibles sur les estimations et de préciser les heures réelles d'arrivée, de passage, du début de palier, de la fin du palier qui seront alors très utiles pour d'autres jaugeages à cette station, même à des débits différents, nous allons prélever largement de part et d'autre du palier supposé.

L'heure des débuts de prélèvement pourrait être 1 h 00 et la fin 3 h 00. Cela ne coûte rien, sinon beaucoup de travail supplémentaire au laboratoire, mais apporte des renseignements précieux qui simplifieront les jaugeages futurs.

Après avoir effectué plusieurs jaugeages à injection continue à cette station on pourra pratiquer l'injection globale.

Admettons que tout les paramètres indiqués pour l'injection continue se soient révélés exacts, voici la façon de mener les calculs :

$$1\ 000\ 000\ \text{l/s} \times 5\ 400\ \text{s} = 54 \times 10^8\ \text{l}$$

A 0,4 mg par litre (0,3 + 30%), cela fait 2 160 kg de traceur et reconcentré 15 fois : 144 kg. Un fût de 200 l suffira pour mettre 3 sacs de 50 kg et compléter avec de l'eau à 200 l. On commencera à prélever à $H + 19\ \text{mn}$ et on arrêtera à $H + 1\ \text{h}\ 50$.

On constate que la méthode est plus simple à condition de bien appréhender le nuage, donc d'être certain des temps et d'être également certain du bon brassage.

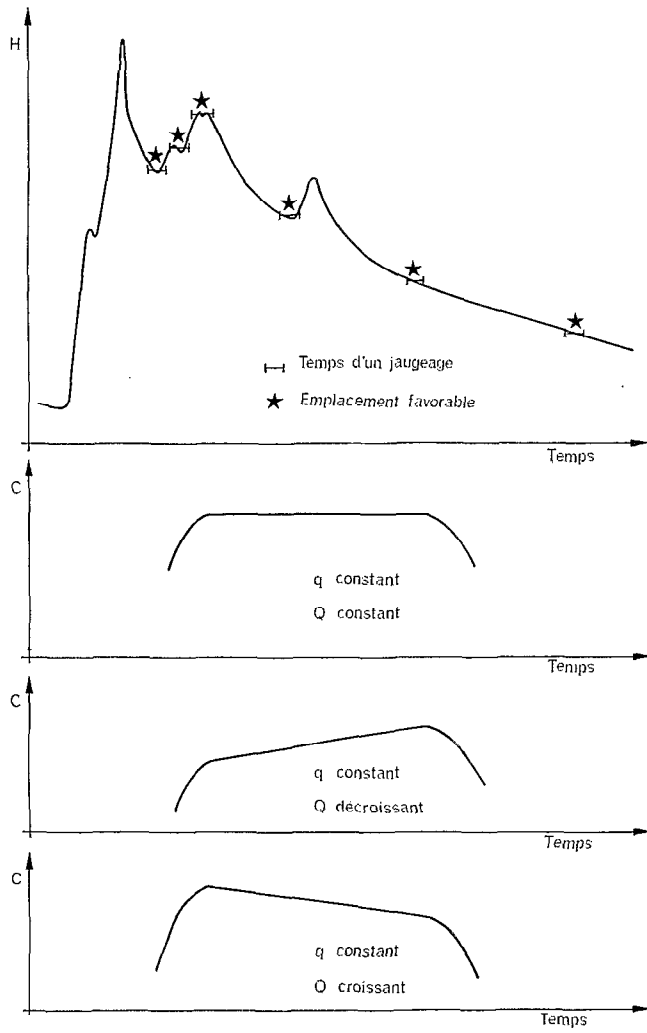


Fig. 14

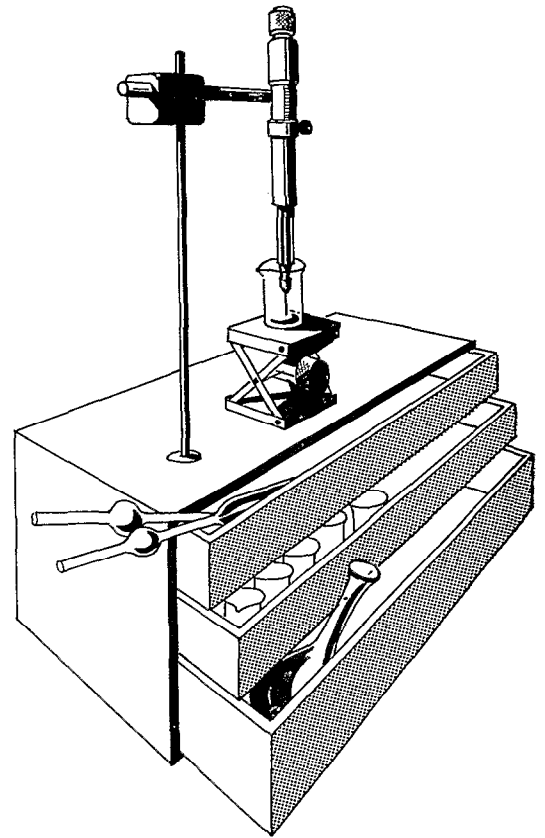


Fig. 15. — Laboratoire de campagne

Tableau récapitulatif des calculs

Q	Débit estimé : $1\ 000\ \text{m}^3/\text{s} = 1\ 000\ 000\ \text{l/s}$
D	Distance injection-prélèvement : $5\ 000\ \text{m}$
V	Moyenne vitesses maximales : $4\ \text{m/s}$
TA _e	Temps d'arrivée estimé : $\frac{D}{V} = 1\ 250\ \text{s} = 20\ \text{mn}$
TP _e	Temps de passage estimé : $1\ \text{h}\ 30\ \text{mn} = 5\ 400\ \text{s}$
TDP _e	Temps de durée du palier : $1\ \text{h} + 30\ \text{mn} = 5\ 400\ \text{s}$
DI	Durée injection : $TP + P = 3\ \text{h} = 10\ 800\ \text{s}$
VO	Volume intéressé : $DI \times Q = 10\ 800\ \text{s} \times 1\ 000\ 000\ \text{l/s} = 10\ 800\ 000\ 000\ \text{l} = 11 \times 10^9$
C ₂	Concentration admise par le colorimètre : $1\ \text{mg/s}$
P	Poids de bichromate : $VO \times C_2 = 11\ \text{t}$
P ₁	Si $C_2 = 0,3$, $P_1 = 11 \times 10^9 \times 0,3 = 3,3\ \text{t}$
R	Reconcentration : 15
P ₂	Poids de bichromate : $\frac{P_1}{15} = 220\ \text{kg}$
VS	Volume de solution : $2 \times 200 = 400\ \text{l} = 400\ 000\ \text{cm}^3$
	Débit d'injection : $\frac{VS}{DI} = \frac{400\ 000}{10\ 800} = 37\ \text{cm}^3/\text{s}$
P ₃	Poids majoré de 30% : $P_2 + \left[\frac{P_2 \cdot 30}{100} \right] = 286\ \text{kg}$
C ₁	Concentration approximative de la solution mère : $\frac{P_3}{VS} = \frac{286\ 000}{400} = 715\ \text{g/l}$
q	Débit d'injection réelle : $48,58\ \text{cm}^3/\text{s}$
TI	Temps d'injection : $\frac{VS}{q} = \frac{400\ 000}{48,58} = 8\ 234\ \text{s} = 137\ \text{mn} = 2\ \text{h}\ 17\ \text{mn}$
P ₄	Poids définitif :
	$\left(\frac{TI \times Q \times C_2}{R} \right) + \left(\frac{TI \times Q \times C_2}{R} \times \frac{30}{100} \right)$
	$\frac{8\ 234 \times 1\ 000\ 000 \times 0,3}{15} = 164 \times 10^6\ \text{mg, soit } 164 + \left(\frac{164 \times 30}{100} \right) = 213\ \text{kg}$
H	Heure début d'injection : $0\ \text{h}$
HFI	Heure fin d'injection : $H + TI = 2\ \text{h}\ 17\ \text{mn}$
HA _e	Heure arrivée estimée des premières particules de bichromate : $H + TA_e = 0\ \text{h}\ 20\ \text{mn}$
HDP _e	Heure estimée début palier : $HA_e + TP_e = 1\ \text{h}\ 50\ \text{mn}$
HFP _e	Heure estimée fin palier : $H + TI + TA = HFI + TA = 2\ \text{h}\ 37\ \text{mn}$
TDP' _e	Temps estimé durée du palier : $HFP - HDP = 47\ \text{mn}$
DP	Début prélèvement : $HDP : 1\ \text{h}\ 00$
FP	Fin prélèvement : $HFP : 3\ \text{h}\ 00$

12. LA DILUTION SUR LE TERRAIN

12.1. COMPOSITION DU LABORATOIRE DE CAMPAGNE

Il est impératif, dès que les eaux sont chargées, de préparer la gamme de dilution témoin *pendant l'injection*.

Le « labo de campagne » est extrêmement simple. Il est contenu dans une caisse de $60 \times 35 \times 30$ cm qui peut servir de plan de travail et de support à la micro-burette, pèse 10 kg complète et chargée. Il peut être constitué d'une caisse en contre-plaqué de 10 avec 3 tiroirs (voir fig. 15) et de :

CHECK LIST

LABO DE CAMPAGNE - MATERIEL A EMPORTER

- 1 SUPPORT AGLA - TIGE - RONDELLE - ECROUS
- 1 NOIX et CLE
- 1 MICRO-BURETTE AGLA
- 2 SERINGUES VERRE
- 1 BALLON de 2000
- 1 BALLON de 1000
- 2 BALLONS de 500
- 2 BALLONS de 250
- 2 PIPETTES de 10
- 2 PIPETTES de 20
- 2 PIPETTES de 25
- 2 PIPETTES de 50
- 3 BECHERS TPX de 100
- 3 BECHERS TPX de 250
- 3 BECHERS TPX de 600
- BOITES PRELEVEMENT ETUIS de 40
- BOITES PRELEVEMENT ETUIS de 50
- 1 BOITE KLEENEX
- 1 EPONGE
- 1 SUPPORT BOY
- 1 CRAYON LABO
- 1 PISSETTE
- 1 DOSSIER PLASTIQUE LABO

Tiroir n° 1

- 2 pipettes de 50 cm³
- 2 » 25 cm³
- 2 » 20 cm³
- 2 » 10 cm³

Tiroir n° 2

- Une éponge
- Un support boy
- Du papier kleenex
- La micro-burette Agla avec seringue
- Une seringue de rechange
- La tige support de seringue H 40 cm Ø 10 mm
- La noix support de seringue

Tiroir n° 3

- 1 ballon 1 000
- 1 » 1 000
- 2 » 500
- 2 » 250
- 3 bechers 600 (1)
- 3 » 250
- 3 » 100
- 1 pissette 250

Il faut évidemment prévoir en plus des boîtes de prélèvement et un jerrican pour l'eau du cours d'eau.

Les dilutions se font dans les mêmes types d'étuis que ceux utilisés pour les échantillons prélevés dans le cours d'eau aux points de prélèvement.

On a intérêt à traiter environ le même volume toujours par souci d'homogénéité et de comparaison.

Ainsi, si les prélèvements font chacun environ 200 cm³, il ne faudrait pas que les échantillons de dilution soient préparés dans 20 cm³. Bien que proportionnellement identiques les échantillons et les prélèvements pourraient peut-être, dans certains cas, réagir différemment et ne plus être comparables.

Rappelons qu'il s'agit là d'eau sale avec constitution de la gamme de dilution pendant le jaugeage et dépouillement au labo plusieurs jours après et généralement très éloigné du point de mesure.

12.2 GAMME DE DILUTION TÉMOIN SUR LE TERRAIN

On appelle « Échantillons » tous *prélèvements* effectués dans la section de prélèvement pendant le passage du nuage salin.

(1) Les bechers sont en plastique cristal transparent et gradués.

On appelle « Gamme de dilution » la série de *témoins* à concentration échelonnée, centrée sur la concentration moyenne des échantillons prélevés. Ces témoins sont reconstitués au laboratoire ou sur les lieux de la mesure à partir de la solution mère injectée et avec l'eau du cours d'eau.

On appelle « Dépouillement » le traitement, généralement au laboratoire, des échantillons et des témoins jusqu'à obtention du but final, le calcul du débit. Ce traitement est : clarification, acidification, réaction, reconcentration et colorimétrie.

Si l'eau du cours d'eau est considérée comme étant « sale » (voir remarque eau sale) il faut procéder à l'élaboration de la gamme de dilution témoin pendant l'injection.

Si l'eau du cours d'eau est considérée comme étant « limpide » (1) on peut :

1° Faire la gamme de dilution témoin sur le terrain après l'injection c'est-à-dire effectuer par le même spécialiste.

2° Faire la gamme de dilution témoins au laboratoire mais quelques jours seulement après la mesure (pas plus de 15) en tout cas le plus tôt possible après la mesure.

Dans ces conditions, on peut *dépouiller* au laboratoire 8, 15, 30 jours et même plus après la mesure.

FAIRE LA GAMME DE DILUTION TÉMOIN LE PLUS TOT POSSIBLE PENDANT OU APRÈS LE JAUGEAGE

12.2.1. Évolution des dépouillements d'un même jaugeage

Voici l'évolution des dépouillements successifs d'un jaugeage effectué dans le Haut Atlas Marocain à la station de Tilougit.

L'eau était apparemment très claire, limpide et pure. Le débit estimé à 15 m³/s. La température de l'oued 11°5 et celle de la solution de bichromate injectée est passée de 16 à 20° au cours de l'injection. Le jaugeage était du type à injection continue.

La mesure a été effectuée le 23-5-78. Des séries de gammes de dilution ont été faites à des temps différents et toutes à partir de la solution mère injectée et avec l'eau de l'oued.

Numéros des gammes	Dates et heures de réalisation		Dates de dépouillements			
			30-5	6-6	13-6	3-7
Débits en m ³ /s						
1	23-5	12,30 *	14,7	15,2	14,8	14,9
2	23-5	15,30	14,7	15,2	14,8	
3	29-5	16,30	15,1	15,2	15,0	
4	5-6	11,30		15,2	15,3	
5	12-6	11,00			14,7	
6	12-6	15,00			14,5	
7	3-7	13,00				12,1

* Pendant l'injection.

● Dépouillement du 30-5-78 (fig. 17 a)

Gamme I faite le 23-5 à 12 h 30 pendant l'injection :

n/t agla (2)	0	6	9	12	15	18	24
Lecture spectro	0	53	79	105	133	158	211
Lecture spectro des échantillons :	106 - 107 - 107 - 108 - 107 - 107 - 108 - 108 - 106 - 107 - 107 - 108 - 107 - (53) (32)						

(1) Se méfier tout de même de certaines eaux apparemment limpides mais qui pourraient « agresser » plus ou moins par certains de leurs composants le traceur en présence.

(2) Nombre de tours de micro-burette agla

$$\text{Nota : } Q = \frac{14-93}{\frac{\text{nt agla}}{3}} \times 0,25$$

Gamme 2 faite le 23-5 à 15 h 30, soit 3 heures après l'injection :

n/t agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	45	70	96	123	152	204

Gamme 3 faite le 29-5 à 16 h 30, soit 6 jours après l'injection :

n/t agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	46	73	100	125	154	207

● **Dépouillement du 6-6-78 (fig. 17 b)**

Gamme 1 faite le 23-5 à 12 h 30 pendant l'injection :

Agla	0	6	9	12	15	24	
Spectro	0	58	87	116	141	222	
Echant.	111 - 111 - 110 - (115) - 111 - 112 - 111 - 111 - 111 - 112 - 111 - 113 - 111						

Gamme 2 faite le 23-5 à 15 h 30, soit 3 heures après l'injection :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	50	80	106	133	162	215

Gamme 3 faite le 29-5 à 16 h 30, soit 6 jours après l'injection :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	48	75	104	133	162	216

Gamme 4 faite le 5-6 à 11 h 30, soit 13 jours après l'injection :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	49	76	105	132	161	219

● **Dépouillement du 13-6-78 (fig. 18 a)**

Gamme 1 faite le 23-5 pendant l'injection :

Agla	0	6	9	12	15	18	24
Spectro	0	57	84	111	141	166	221
Echant.	111 - 111 - 111 (114) 112 - 112 - 113 - 112 - 112 - 112 - 112 - 112 - 112						

Gamme 2 faite le 23-5, 3 heures après l'injection :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	48	76	103	130	157	215

Gamme 3 faite le 29-5, 6 jours après l'injection :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	48	75	104	130	160	213

Gamme 4 faite le 5-6, 13 jours après l'injection :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	49	75	103	133	157	217

Gamme 5 faite le 12-6, 20 jours après l'injection :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	48	73	100	129	155	210

Gamme 6 faite le 12-6 à partir de la solution mère décantée :

Agla	0	5	8	11	14	17	23
Spectro	0	47	73	100	127	(149)	205

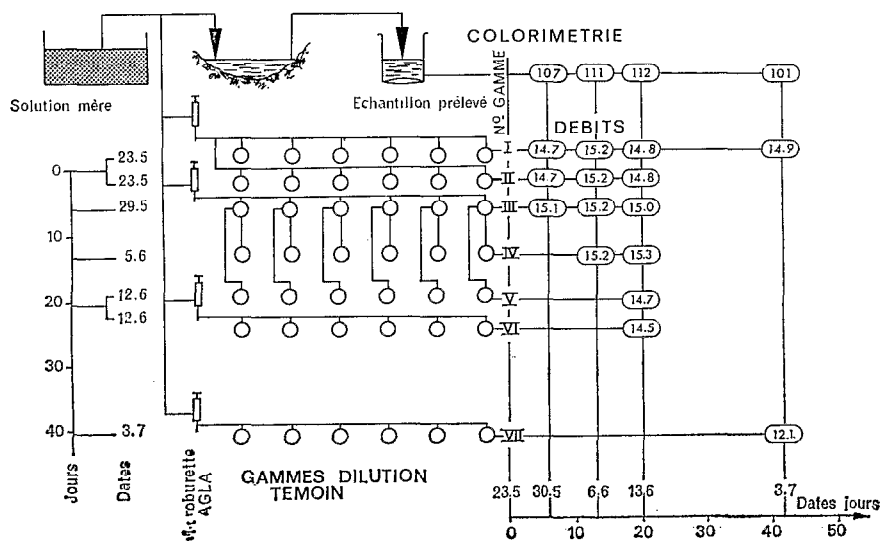


Fig. 16

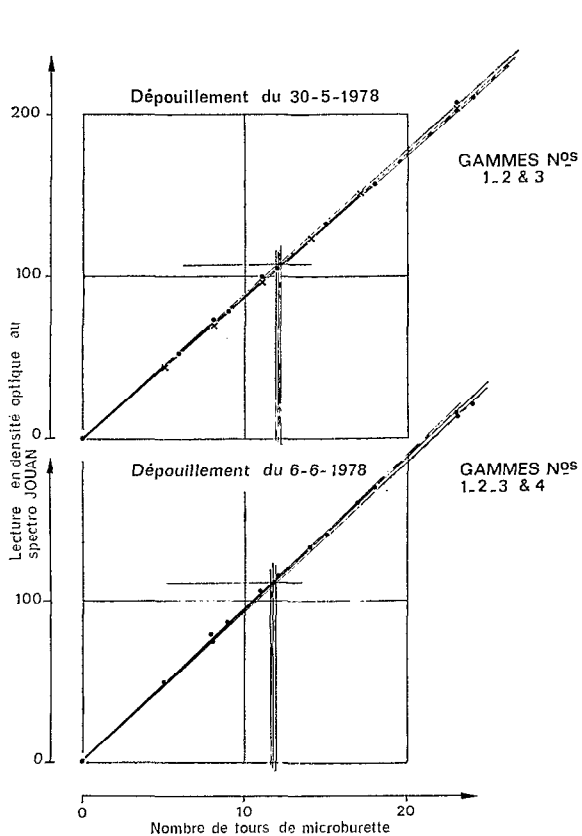


Fig. 17

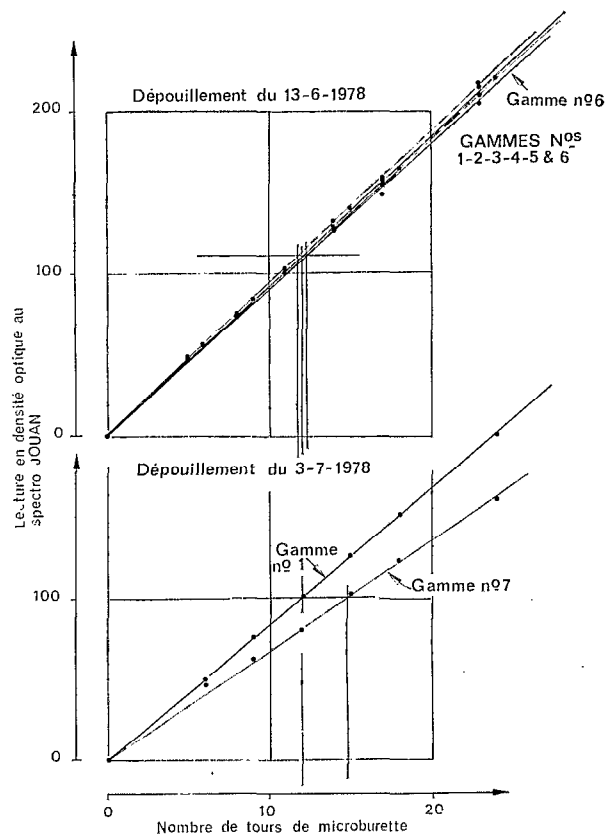


Fig. 18

● Dépouillement du 3-7-78 (fig. 18 b)

Gamme 1 faite pendant l'injection le 23-5 :

Agla	0	6	9	12	15	18	24
Spectro	0	51	77	102	127	152	201
Echant.	99 - 101 - 102 - 100 - 102 - 102 - 102 - 99 - 101 - 102 - 103 - 102 - 101						

Gamme 7 faite le 3-7, soit 41 jours après l'injection :

Agla	0	6	9	12	15	18	24
Spectro	0	47	62	81	103	123	162

12.2. VARIATION DES ÉCHANTILLONS EN FONCTION DU TEMPS

De cette expérience on constate que si la gamme de dilution est effectuée moins de 15 jours après l'injection, les échantillons prélevés et les témoins de la gamme restent comparables et conduisent par conséquent à des résultats satisfaisants suivant une dispersion classique de plus ou moins 1 à 2%.

Mais passé ce délai, on commence à observer une « fatigue » des échantillons par rapport aux témoins. Ceci est alors parfaitement visible avec le dépouillement du 3-7 où les échantillons prélevés le 23-5 et la gamme du 23-5 donnent encore un débit correct, ce qui prouve qu'ils ont tous « évolué » de façon identique et de ce fait restent « comparables » entre eux, alors que les échantillons prélevés le 23-5 comparés à la gamme faite le 3-7 et dépouillés (échantillons et gamme) le 3-7 également, ne sont plus comparables et conduisent à un résultat erroné.

Pour diverses raisons nous n'avons pas pu poursuivre cet essai qui par ailleurs n'est valable que pour les conditions dans lesquelles il a été effectué.

Si l'eau est « sale », louche, laiteuse, trouble, chargée, ou très sale il est alors indispensable de faire la gamme de dilution témoin *pendant* l'injection... répétons-le encore.

On a remarqué en effet que les phénomènes de fixation, absorption, réduction, etc. se produisaient dès que le traceur était mis en présence de l'eau du cours d'eau.

Il ne semble pas que l'évolution de ces phénomènes dans le temps se stabilise car on pourrait dans ce cas avoir intérêt à attendre cette stabilisation pour comparer « échantillons prélevés » et « dilution témoin » faite plus tard.

Sur le graphique représentant (cf. fig. 19) ce que serait une évolution avec stabilisation on constate qu'à dix jours de l'injection les échantillons et les témoins ne sont pas comparables. A vingt, vingt-cinq jours ils le sont. Hélas l'évolution est plus certainement de la forme du graphique à évolution permanente et dans ce cas si la dilution témoin n'a pas été effectuée au moment de l'injection, les échantillons prélevés ne seront *jamais* comparables au témoin.

Voici le déroulement d'un essai fait à Madagascar en 1967 sur le Mangoro, vitesses moyennes d'environ 0,3 m/s, largeur 100 m, distance injection-prélèvement 3 km, Q 100 à 250 m³/s. A cette époque on commençait les jaugeages en eau chargée.

Les eaux chargées ont nécessité la clarification des échantillons et des témoins par décantation naturelle puis précipitation par accélérateur et filtration.

La valeur des débits mesurés a nécessité l'utilisation de la « reconcentration » des échantillons et des témoins.

Les dilutions témoins sont faites au labo de Tananarive avec l'eau du cours d'eau prise avant l'injection. Ces témoins sont préparés à partir de la solution mère injectée, deux jours après l'injection.

L'analyse de la première mesure faite sur le Mangoro par la méthode de dilution à injection constante indique que le brassage est satisfaisant mais que le débit trouvé est surestimé de 30% par rapport à la courbe de tarage de la station et à une bonne mesure au moulinet à partir du zodiac effectuée le même jour que le jaugeage par dilution.

Chimique	212 m ³ /s*
Moulinet	168 m ³ /s
Barème	169 m ³ /s

* Point A sur la courbe d'étalonnage, figure 20.

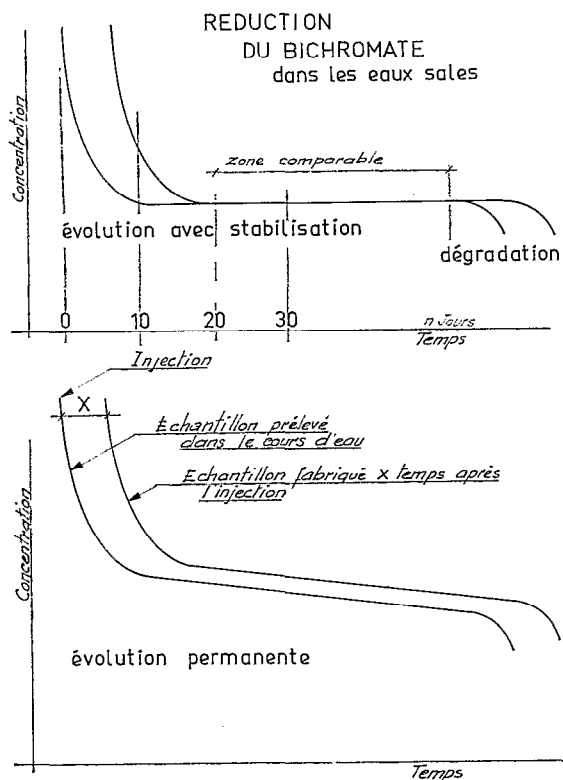


Fig. 19

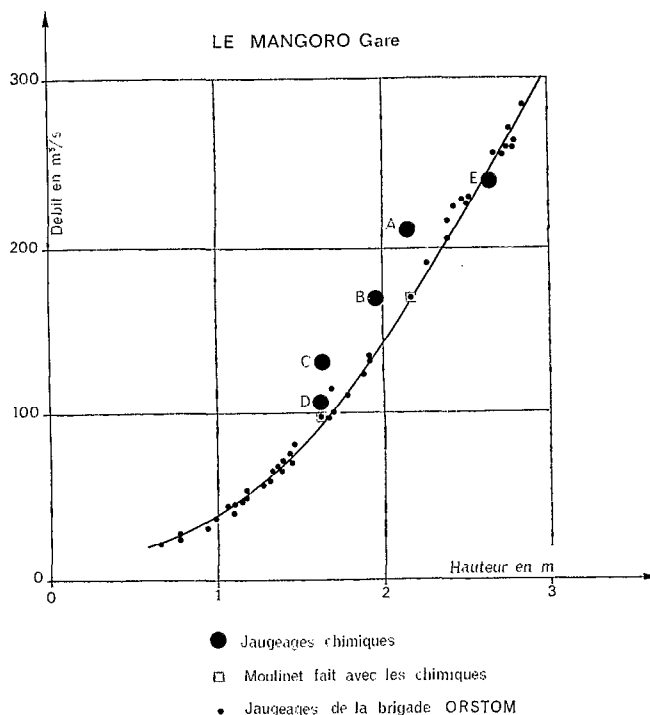


Fig. 20

Erreur accidentelle lors du jaugeage par dilution ? Une deuxième mesure confirme l'écart. Les témoins ont été effectués au labo deux jours après l'injection.

Chimique	170*
Barème	137

Plus de doute, un ou plusieurs phénomènes agissent sur le traceur en fonction du temps.

Afin de confirmer encore si besoin était cette réaction et de neutraliser les effets, il a été décidé :

1. De faire une autre mesure.
2. De préparer une gamme de dilution témoin sur le terrain de telle sorte que celle-ci « évolue » comme les prélèvements et soit comparable.
3. De préparer une gamme de dilution témoin au labo 72 heures après l'injection.
4. De faire à titre de contrôle une mesure au moulinet-zodiac.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

Barème	96,
Moulinet	98,5
Chimique	132
avec dilution faite 72 heures après la mesure.	
Point C sur la courbe.	

* Point B sur la courbe, figure 20.

Chimique 107
 avec dilution préparée sur le terrain
 immédiatement après la fin du jaugeage.
 C'est-à-dire 4 heures après l'injection.
 Point D sur la courbe.

On constate alors :

- a) que les dilutions faites 72 heures après l'injection conduisent à un résultat toujours surestimé de 30% par rapport aux références barème et moulinet ;
- b) que les dilutions faites 4 heures après l'injection conduisent à un résultat encore surestimé de 10%.

Un autre jaugeage est alors effectué en s'imposant la préparation de la gamme de dilution témoin pendant l'injection.

Moulinet	242
Barème	243
Chimique	240*

13. LE LABORATOIRE

Cette partie a été bien décrite dans l'ouvrage *Hydrométrie pratique des cours d'eau* de André, nous ne reviendrons donc pas sur ces détails importants.

Rappelons tout de même quelques points qui doivent être connus de tous et ne pas être oubliés.

Un coin laboratoire doit être réservé au dépouillement des jaugeages par dilution avec sa verrerie, ses installations fixes, ses produits, son matériel. Il n'y a rien de plus désagréable et déprimant au retour du terrain que de commencer à dépouiller et de ne plus trouver à la seconde près ce dont on a besoin.

Se méfier d'un éclairage hétérogène sur les plans de travail qui influencerait plus ou moins certains échantillons. Les rayons de soleil en particulier sont à annuler par des rideaux surtout sur les échantillons réactivés.

On peut toujours dépouiller sur une table de camping de 1 m², cela s'est fait, mais un plan de travail (paillasse) de 5 m de long paraît un minimum. L'idéal étant la disposition en L ou en U d'une paillasse 4 + 3 ou évidemment plus avec des placards sous la paillasse et au-dessus.

Les produits doivent être à l'abri de la lumière et si possible climatisés surtout la diphényl-carbazide qui, en plus, craint l'humidité, ainsi que l'acétone H.P.

Il faut évidemment de l'eau et de l'électricité au minimum. Une bonne installation comportant en plus : de l'eau chaude, du courant stabilisé, une trompe à vide, un éclairage judicieux sur les plans de travail sans éblouir l'opérateur, des prises de courant en nombre suffisant et bien réparties, mais éloignées des points d'eau.

Les essuie-mains en rouleau de papier dérouleur ou genre kleenex sont préférables au torchon classique qui, après un ou deux usages peut être contaminé par le bichromate et compromettre ainsi toute la mesure.

A part les échantillons de dilution mère le bichromate en cristaux ou en solution concentrée ne doit jamais « rentrer » dans le labo et encore moins y être stocké.

Une blouse blanche est recommandée. Il existe même des blouses anti-acide.

Il est formellement interdit de pipeter la solution de bichromate concentrée avec la bouche, il existe des poires à pipette ; ou bien utiliser la trompe à vide.

Un rince-œil contenant de l'Optrex ou équivalent est recommandé.

Attention aux éclaboussures sur soi, ou dans les échantillons en traitement, que ce soit de l'eau ou du concentré ou un produit quelconque, elles vont perturber les mesures.

Périodiquement le lavage de la verrerie se fera avec un produit spécial Alconox ou Mucosal. Surtout les pipettes et les ballons à décantation qui ont reçu du butanol.

Se servir d'eau vinaigrée, ou teepol, ou ajax et avec du gros sel ou du sable, bien agiter, pour l'intérieur des verreries inaccessible avec les doigts.

* Point E sur la courbe d'étalonnage.

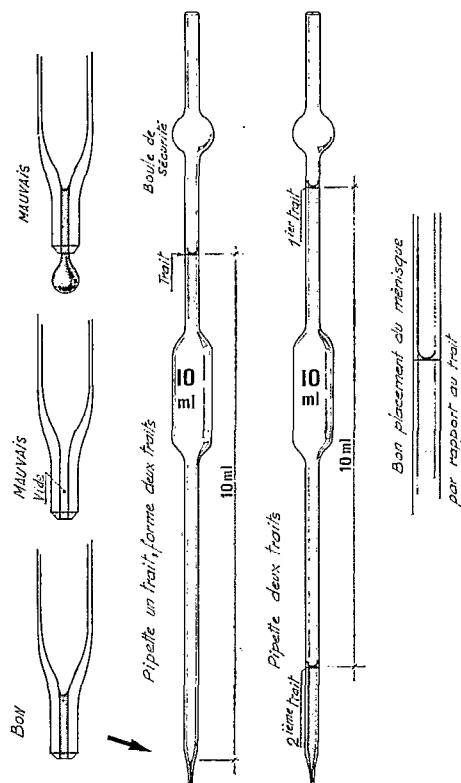


Fig. 21

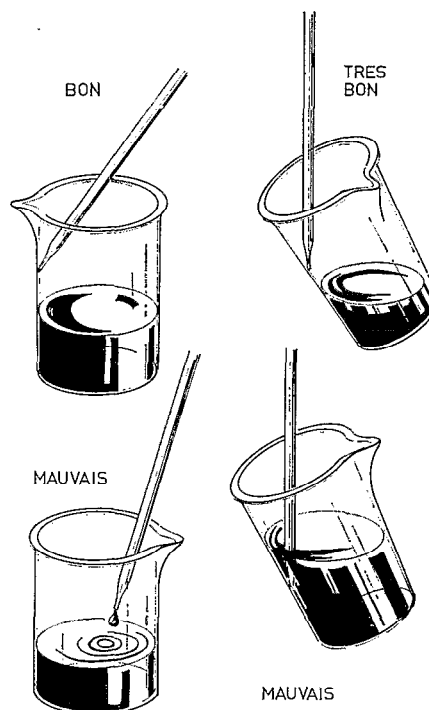


Fig. 22

Les rodages émeri seront souvent graissés à l'aide d'un papier filtre non pelucheux préalablement imprégné de graisse spéciale.

Pour bien « délivrer » avec une pipette, rappelons ces quelques recommandations :

Ajuster au trait du haut, le ménisque tangent (voir fig. 21). Cet ajustage doit s'effectuer la pointe de la pipette en appui sur la paroi du récipient avec un angle compris entre 30 et 45° afin qu'une goutte ne reste pas suspendue.

S'il s'agit d'une pipette un trait, délivrer (la pointe hors du liquide en appui sur la paroi angle 30 à 45°) jusqu'à écoulement complet. Ne pas souffler. Attendre 30 secondes le ressuyage. Le canal ne doit pas être vide. En effet l'étalonnage est prévu avec un reste capillaire en bout de la pointe.

S'il s'agit d'une pipette à double trait, arrêter au trait du bas, ménisque tangent. Attendre 30 secondes dans cette position que le ressuyage s'effectue correctement et réajuster le ménisque.

La température ambiante et celle du liquide délivré doivent être voisines de 20°. C'est sous cette température que les pipettes de précision ont généralement été étalonnées.

Si le liquide est visqueux et surtout si la pipette est grasse ou sale la rétention du liquide est importante et fausse le volume délivré par défaut.

Ne pas croire que ces précautions sont superflues surtout lorsque l'on traite les solutions concentrées de bichromate.

Il faut avoir parfaitement assimilé la méthode pour pratiquer correctement au laboratoire.

Ainsi à certaines phases du dépouillement on peut utiliser de la verrerie mouillée, à d'autres moments il faudra au contraire de la verrerie sèche. À telle ou telle opération l'eau de ville est indispensable alors qu'à telle autre il faut impérativement utiliser de l'eau du cours d'eau.

Certaines manipulations doivent être effectuées avec beaucoup de précision alors que d'autres devront être rapides et approximatives.

Telle ou telle procédure doit s'effectuer à des temps précis et chronométrés alors que celle-là peut être faite à n'importe quel moment.

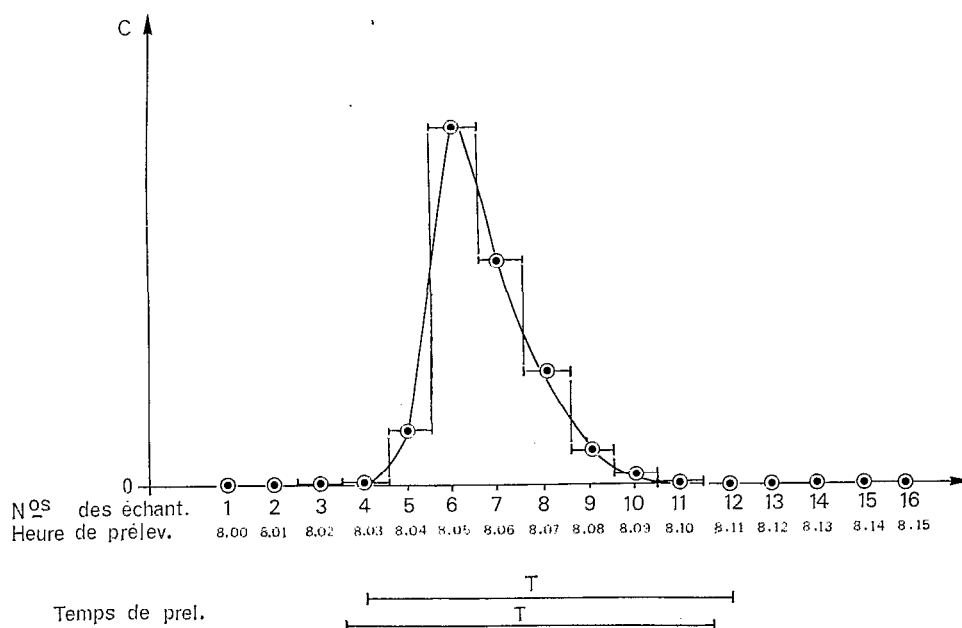


Fig. 23

Ici, il faudra rincer avec la solution à recevoir, là il sera impératif au contraire d'employer un verre sec et propre. A tel moment il faudra agiter, là, surtout pas.

Il serait très long de préciser en détail tout cela. Il faut souvent réfléchir avant de manipuler au labo pour savoir si « on a le droit » de faire ce que l'on s'appête à faire. Autrement dit comprendre ce que l'on fait.

Dans les cas où l'on a injecté de façon ponctuelle et prélevé des échantillons conservés séparément, on teste ceux du début et de la fin et l'on supprime les blancs, c'est-à-dire ceux qui apparemment ne contiennent pas de bichromate.

Faire ensuite attention au temps à prendre en compte.

Exemple : cas de la figure 23.

1. On élimine 8 h 00, 8 h 01, 8 h 02, 8 h 12, 8 h 13, 8 h 14, etc.

2. Le temps T est 8 h 11 — 8 h 03 = 8 mn = 480 s.
et non pas 8 h 10 - 8 h 00.

On peut aussi prendre T = 8 h 02 mn 30 s à 8 h 10 mn 30 s, ce qui fait également 8 mn.

14. L'AJUTAGE

On appelle ajutage, ou diaphragme, l'orifice calibré qui, en fonction de la charge, va délivrer un débit d'injection indiqué généralement par q.

On dispose en principe d'un jeu d'ajutages percés de trous de \varnothing différents 3, 4, 6, 8, 10 mm qui vont permettre d'injecter des débits également différents, de respectivement 15, 20, 50, 80 et 120 cm³/s environ.

Très important, ce débit injecté, puisqu'il entre directement dans la formule de calcul du débit Q du cours d'eau.

$$Q = q \frac{C_1}{C_2}$$

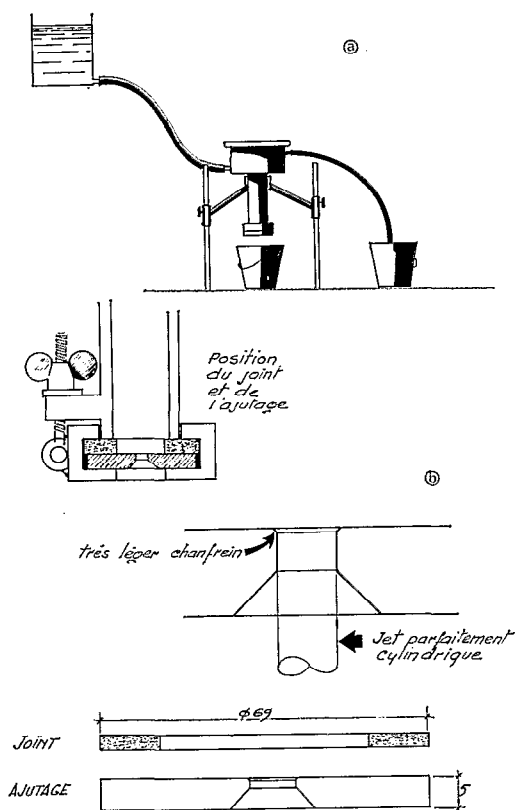


Fig. 24

Etalonné en laboratoire par doubles pesées ou par volumes avec pointe de mesurc, le débit de l'ajutage, à charge constante, peut varier en fonction de divers phénomènes physiques dont les principaux sont la température et la viscosité de la solution injectée. On sait que :

- q augmente si la température de la solution baisse ;
- q augmente si la concentration de la solution baisse.

Dans une zone de travail normal cette variation de q n'est que de 1 à 2% semble-t-il, d'après des essais effectués par la D.T.G. d'E.D.F.

Mais elle peut être beaucoup plus importante si un accident se produit au niveau de l'écoulement dans le diaphragme.

Pour contrôler cela, il faut que lors de l'étalonnage le jet soit *parfaitement cylindrique* et par conséquent qu'on y retrouve la *même forme* lors des différentes injections.

Un contrôle grossier consiste à vérifier après chaque injection que le volume injecté divisé par le débit d'injection correspond à peu près à la durée effective de l'injection.

L'usinage des ajutages ne donne pas toujours d'emblée un écoulement bien calibré ; il faut alors légèrement chanfreiner l'angle supérieur du diaphragme jusqu'à obtention d'un jet bien net (cf. fig. 24).

Evidemment, après l'étalonnage, on ne doit plus intervenir sur le diaphragme ou alors il faut procéder à un nouvel étalonnage.

Les ajutages sont généralement faits en métal inoxydable (inox) mais cet alliage peut être de qualité plus ou moins bonne. Si des points de corrosion apparaissent sur les diaphragmes ces derniers sont à rejeter. Les inox 18/8 (18% de chrome et 8% de nickel) donnent satisfaction.

15. TRAITEMENT DES EAUX SALES

« La cuisine » réservée aux eaux sales est dans l'ordre chronologique :

1. Décantation.
2. Flocculation.
3. Filtration.
4. Reconcentration.
5. Colorimétrie.

C'est un menu à la carte, on peut choisir : décantation + colorimétrie. Si la décantation n'est pas suffisante on peut faire flocculation + colo ou décantation + flocculation + colo ou si 1 + 2 ne suffisent pas on fera alors 1 + 2 + 3 puis 5. On fait souvent 2 + 4 + 5, car la filtration est longue et pas très facile, ce que l'on utilise après la flocculation est encore trouble et ne passe pas au colorimètre, mais la reconcentration, du fait de l'extraction, filtrera l'échantillon qui passera alors correctement en colorimétrie.

Ces différentes phases du dépouillement demandent beaucoup de précautions à tout instant et d'attention. Il nous est arrivé quelquefois d'attaquer un dépouillement alors que nous étions fatigués. C'est alors l'énerverment et la valse des points. Il faut remettre au lendemain et ne plus insister. Il nous arrive aussi de fermer à clef la porte du labo et de décrocher le téléphone, tant les « diversions » de toute nature sont gênantes. Le travail de dépouillement des jaugeages classiques, simples, en eau claire s'effectue bien avec un seul « laborantin » mais dans les cas plus complexes, eau sale, prélèvements multipliés, reconcentration, etc., il faut obligatoirement disposer de deux opérateurs de grande confiance. Ils parleront très peu entre eux, seulement l'essentiel. Trois ce serait trop, ils se gêneraient.

Ceci dit pour bien préciser que les dépouillements en eau sale et gros débits sont à aborder avec respect, tôt le matin, calme et reposé en évitant les dérangements.

Un dépouillement commencé ne peut pratiquement pas être interrompu et repris ultérieurement.

15.1. DÉCANTATION

Il s'agit d'une décantation naturelle. Les échantillons et les témoins doivent évoluer dans les mêmes récipients avec à peu près les mêmes volumes si possible. Échantillons et témoins seront agités avant le début de la décantation proprement dite.

Si la décantation naturelle est suffisante au bout de 12 ou 24 heures, alors on peut passer aux opérations 4 et 5. Si l'eau est encore louche ou trouble, même de façon à peine perceptible, il faut faire 2 ou 3 ou 4. 2 si elle est encore franchement trouble, 3 ou 4 si elle présente encore quelques particules en suspension qui gêneraient par réfraction la lecture au colorimètre.

Le soutirage après décantation s'effectue par transvasement du volume décanté dans un autre récipient sec et propre, en prenant soin de ne pas remettre en suspension une partie du décantat. Il suffit pour cela de verser doucement et régulièrement la partie clarifiée. C'est la méthode la plus simple et la plus rapide. On prélève ensuite dans cet échantillon ou témoin clair le volume précis désiré à l'aide d'une pipette.

15.2. FLOCCULATION

C'est une décantation accélérée à l'aide d'un catalyseur qui précipite les matières colloïdales en suspension au fond du récipient.

On prend les mêmes précautions pour le soutirage que dans la décantation naturelle. Si la partie claire est très pure on passe à 4 ou à 5 ou à 4 + 5. Si la partie claire comporte encore quelques impuretés en suspension on fait 3 + 5 ou 4 + 5 ou encore 3 + 4 + 5.

Plusieurs procédés de clarification ont été plus ou moins expérimentés. En 1979 celui qui, à notre connaissance, donne les meilleurs résultats avec le minimum de « cuisine », c'est le sulfate d'alumine et le silicate de soude.

Dans certaines eaux chargées de particules schisteuses et granitiques le sulfate d'alumine seul est inopérant de même que le silicate de soude seul. Par contre, l'emploi simultané de ces deux coagulants a quelquefois donné satisfaction.

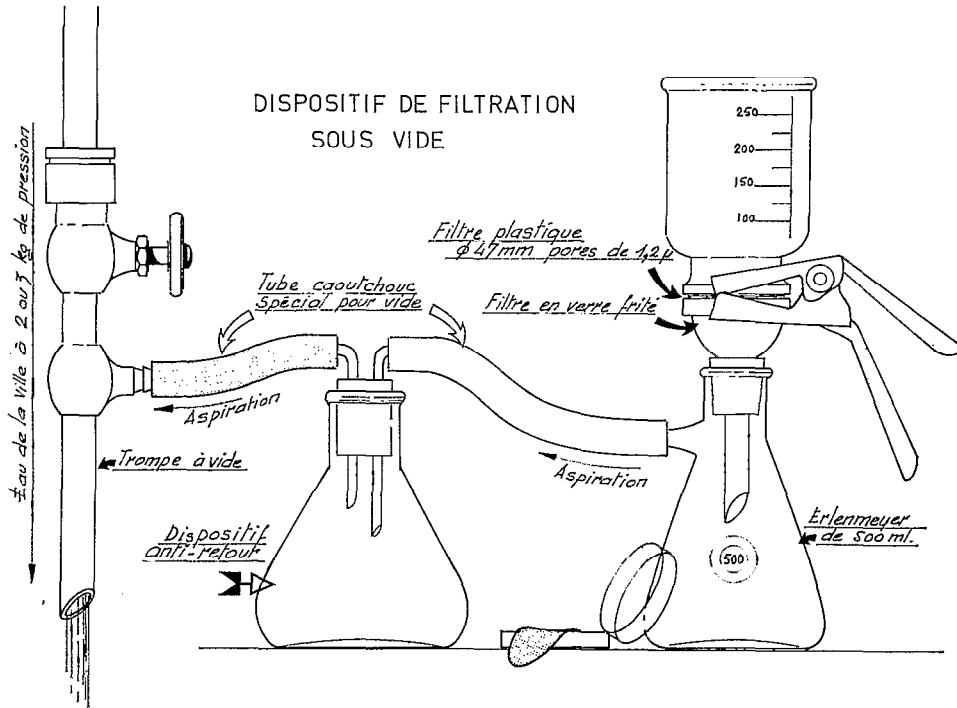
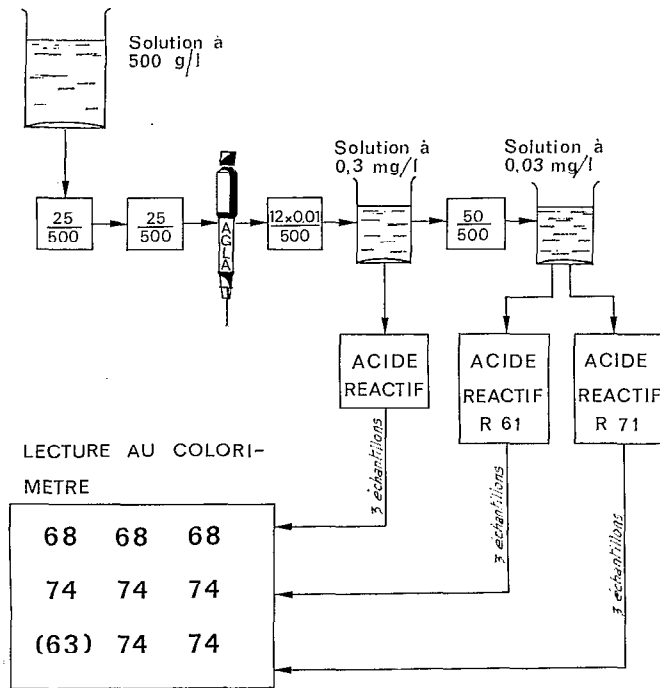


Fig. 25. — Dispositif de filtration sous vide



R 61 Reconcentration 10 fois méthode lente 1961

R 71 Reconcentration 10 fois méthode rapide 1971

Fig. 26

Le silicate de soude ($\text{SiO}_2 \text{ Na OH}$) se présente sous la forme d'un liquide gluant. On prépare une solution de 25 cm^3 de silicate dans 500 cm^3 d'eau.

On introduit alors, à l'aide d'un doseur facile à nettoyer (car le silicate est tenace sur les parois en verre), 1 cm^3 de la solution ainsi préparée dans 100 cm^3 d'échantillon ou de témoin à flocculer.

On agite 15 secondes rapidement, puis 15 secondes lentement, avec un barreau en verre préalablement lavé et sec.

Laisser flocculer de 30 minutes à 10 heures suivant les résultats obtenus, suivant que l'on doit faire après 3 + 5 ou 4 + 5 ou 3 + 4 + 5 et suivant le temps dont on dispose.

Le sulfate d'alumine $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ est généralement présenté en cristaux. On prépare à l'avance une solution à 10 grammes de ce sel pour 100 cm^3 d'eau. Mettre à l'aide d'une pipette ou d'un doseur 1 cm^3 de la solution ainsi préparée dans 100 cm^3 d'échantillon ou de témoin. Dès l'adjonction du sulfate d'alumine on agite rapidement pendant 15 secondes puis lentement pendant encore 15 secondes avec un barreau en verre préalablement lavé et séché. Laisser précipiter pendant plusieurs dizaines de minutes et suivant le résultat obtenu, passer à 4 + 5 ou 3 + 5 ou 3 + 4 + 5.

Dans les cas particulièrement récalcitrants on peut faire :

Sulfate d'alumine + silicate de soude

ou encore

Sulfate d'alumine + silicate de soude + sulfate d'alumine

Un accélérateur de floculation le purifloc 17 serait paraît-il très efficace, mais nous n'avons pas eu la possibilité de procéder à ses essais.

Le chlorure ferrique III est également à essayer. Par contre le Cl Na , le $\text{SO}_4 \text{H}_2$, le papier filtre ordinaire, la centrifugation n'ont pas donné satisfaction.

15.3. FILTRATION

Si la décantation, naturelle ou accélérée, n'a pas clarifié suffisamment les échantillons il faut alors passer par la filtration.

La filtration naturelle par gravité est toujours pratiquement inopérante. Il faut accélérer la filtration en faisant le vide soit à l'aide d'une trompe à eau branchée sur l'eau de la ville si la pression est assez forte, soit par une pompe à vide. Le schéma de la chaîne de montage est donné figure 25.

Il faut « contaminer » l'ensemble de l'installation avec l'échantillon à traiter. Pour cela, on filtre quelques centimètres cubes que l'on jette, puis l'on passe le volume à conserver.

Le filtre plastique est manipulé délicatement avec une pince à épiler car les doigts (sueur et graisse) bouchent les pores de 1, 2 μ .

Evidemment le filtre est à changer à chaque fois que la concentration de l'échantillon à traiter change. Il faut également, à chaque fois, un erlenmeyer sec et propre.

15.4. RECONCENTRATION

Le processus pratique est très bien décrit dans *Hydrométrie pratique des cours d'eau* de M. André et il n'est donc pas utile de le répéter ici.

Nous donnons toutefois un plan de travail distribuant les différentes phases opérationnelles réparties dans le temps suivant que l'on procède avec un ou deux opérateurs (fig. 27).

En 1971 les opérateurs de la DTG utilisent un plan plus rapide (fig. 27).

Les essais démontrent au tableau ci-après qu'il n'y a pas de différence entre la méthode de 1961 et celle de 1971. Sous réserve d'essais plus complets on a donc intérêt à adopter la méthode rapide de 1971 correspondant au plan de travail n° 3.

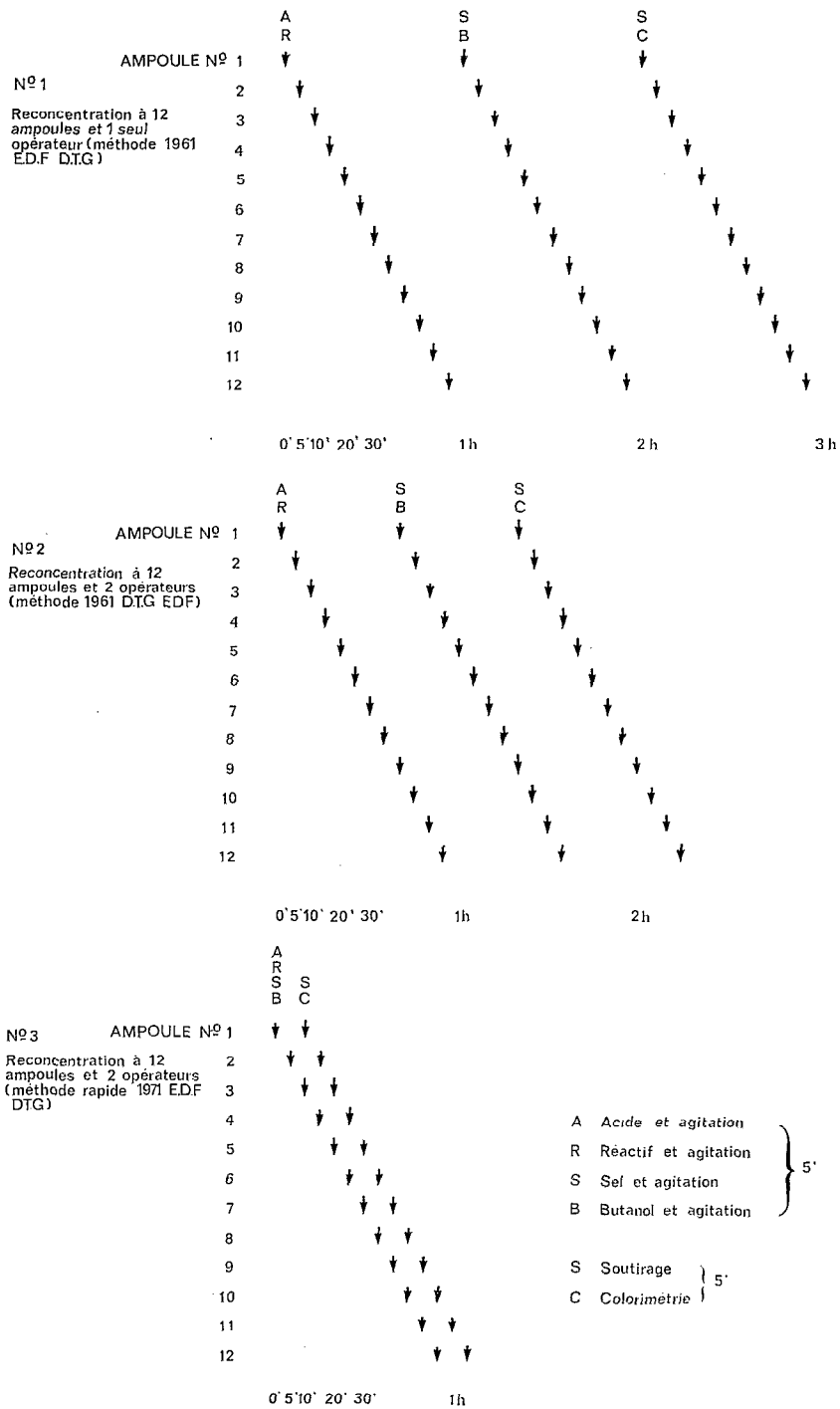


Fig. 27

16. LES PIÈGES

16.1. L'AJUTAGE

- Vérifier qu'il soit placé comme pour l'étalonnage (partie fraisée à l'extérieur).
- Vérifier le volume et le temps d'injection = Q ajustage.
- Il doit couler cylindrique et avoir été étalonné de même.
- Il ne doit évidemment pas y avoir de fuite.

16.2. VOLUME INJECTÉ

Dans la méthode globale, il est indispensable de connaître avec précision le volume injecté.

16.3. PRÉLÈVEMENT

- Le point de prélèvement en global ne doit pas changer de place en cours de jaugeage. N'oublions pas qu'à aucun moment la concentration n'est identique dans la section ni même en amont ou en aval.
- Ne pas racler les fonds vaseux avec le godet à prélèvement. Il ramasse plus ou moins des alluvions. Comme ce ramassage n'est pas identique d'un échantillon à un autre les résultats sont aberrants et dispersés.
- Prélever dans les zones de courant.
- Avoir 2 godets prêts, cordelle lovée correctement en cas d'accrochage. Sinon continuer à la main au bord dans une zone de courant.
- Marquer au feutre les étuis et respecter un ordre immuable.
- Remplir toutes les cases de la feuille de jaugeage.

16.4. LA PLUIE

- La pluie sur le vase à injection est à éviter à cause des projections et de la dilution de la solution mère injectée.
- Ne pas déboucher les étuis avant de prélever.

16.5. LOT MICRO-POMPE

- La batterie doit être rechargée systématiquement au retour ou sur un dispositif spécial sur le véhicule.
- Elle est composée de dix éléments de 1,2 V de 6 A/h, référence Saft VR 7. Chaque élément est gainé avec sortie pas cosses soudées. Ils font 32,5 mm de diamètre et 91,1 mm de hauteur. Ils sont à monter en série, soit 12 V, dans un coffret en bois et noyés dans du silastène.
- La recharge doit s'effectuer à raison de 600 milliampères pendant 10 heures. Les batteries sont livrées sur demande par le constructeur Mecanicair.
- Faire « chauffer » l'ensemble avant chaque mesure afin d'arriver à un rendement constant. Vérifier les tours/minutes avant de commencer le prélèvement et à la fin.
- La crépine doit être constamment dans l'eau, ne pas bouger, dans un lieu de courant laminaire non émulsionné, bien visible, sur une pierre relativement plate.
- Calculer le volume donné par T 6 en fonction du temps de prélèvement. T 6 est le prélèvement qui est arrêté le dernier. Ce volume ne doit pas dépasser la capacité du sac.

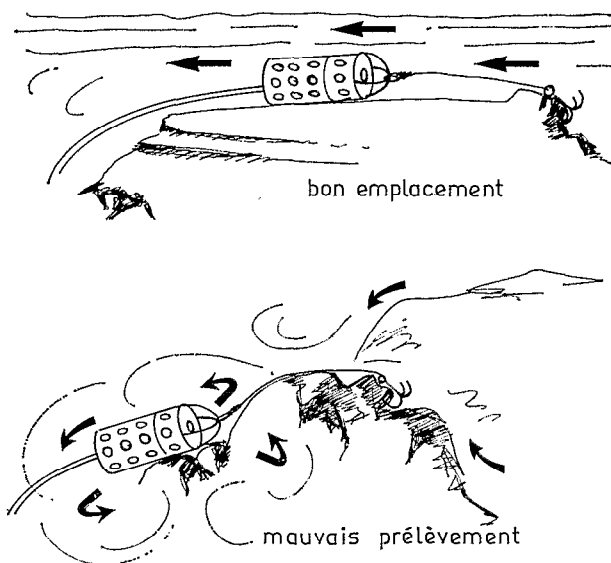


Fig. 28. — Crépine de la micropompe

16.6. LE GEL

- En cas de grand froid, utiliser si possible de l'eau chaude pour dissoudre le sel.
- Mettre des barrettes de méta (alcool solidifié) pour l'injection continue.
- Si la peau des doigts colle à l'aluminium, ne pas tirer mais essayer de mouiller avec de l'eau. Elle se décollera toute seule.

16.7. LE SOLEIL

Les échantillons sont à protéger sur le terrain, dans le transport et sur la paillasse surtout après avoir reçu le réactif.

16.8. À L'INJECTION À DÉBIT CONSTANT

- « Écouter » en tapant le fond de la cuve d'injection avec un bois ou un tube pour détecter s'il reste du sel.
- Faire partir l'air dans le tuyau qui va de la cuve au vase.
- Vérifier qu'il n'y a pas de sel dans le tuyau d'injection. Pour éviter cela, toute l'installation doit être « en eau » et le fond de la cuve également, avant d'y verser le sel. Attention aux éclaboussures.

16.9. DIVERS

- Avant la fin de l'injection : penser à prélever de la solution mère pour le labo. Ne faites pas oh ! cela est arrivé (une fois) à des gens très bien !!!
- Prélever dans le même cours d'eau que celui où l'injection a été faite. Souriez c'est votre droit. Ce jour-là « ils » n'ont pas ri.

- Penser à vous munir d'attestations, autorisations, etc. avec beaucoup de tampons et papiers à en-tête si vous avez à passer une frontière. Certains se souviennent d'une longue nuit sur un banc d'Andorre parce que les douaniers n'ont jamais voulu croire que c'était de l'eau qu'il y avait dans toutes ces bonbonnes.
- Dans certains pays, régions, provinces, les lâchés de fluorescéine affolent les riverains et font accourir, gendarmes, gardes pêche, eaux et forêts, sorciers ou militaires. Si vous aimez travailler tranquille, prévenez les autorités avant de révolutionner la région.
- Si un paysan vous observe depuis une heure, en train de remplir une bonbonne de 20 litres avec un tube à essai au bord de la rivière, faites-lui des sourires de temps en temps afin qu'il n'aille pas vous faire interner avec les déficients mentaux.
- Si l'on doit effectuer une série de mesures sur un même bassin versant, penser aux délais de propagation du bichromate afin de ne pas subir l'influence d'une injection faite antérieurement en amont. Afin d'éviter ce risque, on commence si possible par l'aval.

16.10. AU LABORATOIRE

- Les pièges au labo sont trop nombreux pour les énumérer tous ; les principaux sont :
- Attention à l'Agla, que le piston colle toujours au palmer, que l'aiguille trempe de 2 mm dans l'eau, que l'air soit chassé de la seringue. Ne pas faire « marche arrière », et qu'il n'y ait pas d'air dans l'aiguille.
- Supprimer toutes les bulles d'air sur les doseurs, etc.
- Ne confondons pas la délivrance d'un volume précis et d'un volume reproductif.
- Surveiller les ressuyages, les ménisques.
- Ne pas faire de confusion avec une verrerie sèche et propre ou mouillée et propre ou mouillée avec la solution à recevoir. Réfléchir avant chaque manipulation s'il faut l'une ou l'autre de ces conditions.
- La dilution $\frac{10}{1\ 000}$ (10 dans 1 000) est en fait 10 dans 990 et non 10 ajouté à 1 000.
- Dans tous les calculs, attention aux unités, aux virgules et aux zéros.
- Utiliser les colorimètres après un bon temps sous tension pour qu'ils chauffent et soient stables.
- Réfléchir à la notion d'utilisation de l'eau décantée ou au contraire le décantat remis en suspension.

17. CONCLUSIONS

Le jaugeage par dilution doit pouvoir être pratiqué par un service hydrologique.

Le jaugeage par dilution est complémentaire du jaugeage au moulinet.

Le jaugeage par dilution demande aux opérateurs de la minutie, de la rigueur, de la précision, de la persévérance. Il leur faudra pratiquer souvent.

Le jaugeage par dilution pour des débits inférieurs à 50 m³/s en eau propre est facile et peut donc être effectué couramment.

Le jaugeage par dilution pour les gros débits en eau sale est une petite expédition qu'il faut aborder avec circonspection, dans les cas qui en valent la peine et avec le maximum d'atouts en main.

On a toujours intérêt à faire la gamme de dilution témoin pendant le jaugeage surtout si l'eau n'est pas parfaitement limpide.

L'équipe et le matériel doivent être constamment prêts à intervenir dans les plus brefs délais.

La méthode par dilution a été essayée dans suffisamment de pays tropicaux ou sahéliens pour que l'on puisse affirmer que, mis à part quelques très rares cas particuliers et en prenant les précautions habituelles, cette méthode est parfaitement applicable et rend, comme ailleurs, les plus grands services. La principale difficulté reste le recrutement d'un personnel suffisamment qualifié pour être initié valablement.