

ÉTUDE CRITIQUE D'UN ESSAI D'APPLICATION DES MÉTHODES RADIOACTIVES AUX PROBLÈMES DE DYNAMIQUE FLUVIALE

par J. TRICART

Directeur du Centre de Géographie Appliquée,
assisté de J. M. AVENARD et de A. R. HIRSCH collaborateur technique du C.G.A.

Depuis 1949, le laboratoire de Géographie Physique du Centre de Géographie Appliquée a fait porter une grande partie de ses activités sur l'étude de la dynamique fluviale au moyen de la combinaison d'observations géomorphologiques et d'analyses sédimentologiques et morphométriques. Dès 1954, des résultats convergeants concernant le Var ont été obtenus par MM. R. HOURS et P. JAFFRY au moyen de la première tentative d'utilisation des méthodes radioactives à la solution de tels problèmes.

C'est pourquoi il a semblé intéressant, tant à la Section des Applications des Radioéléments du Centre d'Etudes Nucléaires, qu'au Laboratoire de Géographie Physique du Centre de Géographie Appliquée, de confronter leurs expériences afin de s'efforcer de mettre au point une méthode d'application des marquages radioactifs à l'analyse de la dynamique fluviale. A la suite de conversations préliminaires, entre M. LEVÈQUE et le Professeur TRICART, un accord a été conclu. Par une lettre en date du 4 mars 1959 le C.E.A. a accepté de mettre en train une première expérience limitée au bassin de l'Hérault, pour lequel le Laboratoire du C.G.A. disposait déjà de nombreuses données d'observations et d'analyses sédimentologiques.

Cette expérience préliminaire a permis de mesurer les difficultés présentées par la nouvelle méthode. Bien que les résultats obtenus n'aient que partiellement répondu à nos attentes, le bilan de cette expérience est loin d'être négatif. Elle permet de préciser les conditions dans lesquelles devront être faites de nouvelles tentatives et les résultats que l'on peut espérer en obtenir.

La présente étude critique est destinée à tirer la leçon de cette première expérience du point de vue des sciences de la Terre qui est le nôtre.

Nous examinerons donc successivement l'objet de l'expérience, les conditions de réalisation, les résultats obtenus et les conclusions méthodologiques que l'on peut en tirer.

I. --- OBJET DE L'EXPÉRIENCE.

Par suite d'un manque de liaison banal en matière de recherche scientifique, l'unique expérience antérieure dans ce domaine, celle qui avait porté sur le Var, avait été mise sur pied dans l'ignorance de nos propres recherches. Ses principaux résultats s'étaient limités à confirmer les nôtres. Il était donc possible d'en conclure que les deux méthodes sont également valables, ce qui incite à penser que des résultats nouveaux peuvent être obtenus en les combinant. Le principal objet de l'expérience tentée dans les Cévennes a été, en ce qui nous concerne, de déterminer les conditions dans lesquelles il est possible de le faire. Un tel problème est nécessairement complexe et comporte des risques d'incertitude qui sont approximativement proportionnels au carré des risques que présente chaque méthode prise isolément.

Les recherches déjà effectuées par le Laboratoire de Géographie Physique du C.G.A. sur l'Hérault nous avaient permis de déterminer avec une certaine précision les conditions d'alimentation en alluvions et le mode de transport de ces dernières. Ce cours d'eau est caractérisé, même lors des crues, par la prédominance du transport des galets par saltation. Les charriages en masse sont exceptionnels et, lors même de la crue d'automne 1958, n'ont joué qu'un rôle très réduit et toujours local : ils ont fonctionné essentiellement sur quelques centaines de mètres et seulement à l'aval d'obstacles qui ont cédé brusquement, occasionnant des effets de chasse d'eau. Dans les autres cas, la crue d'automne 1958 a seulement accéléré globalement le transport par saltation du matériel grossier. Comme nous avons pu l'établir au moyen de spectres pétrographiques régulièrement espacés le long du cours d'eau et de ses principaux affluents, et appuyés sur plusieurs dizaines de milliers de déterminations, la crue a simplement allongé le parcours moyen effectué par chaque galet par rapport aux parcours réalisés lors des crues de débit inférieur. Le problème, pour la

solution duquel nous avons pensé à nous appuyer sur les méthodes radioactives, est celui de la détermination des seuils de mise en marche du matériel de granulométrie connue.

Notre objectif était donc d'immerger dans le lit de l'Hérault un matériel rendu reconnaissable grâce à un marquage radioactif, puis de suivre son transport vers laval en comparant sa migration aux conditions hydrologiques de la période considérée.

La réalisation de cette expérience comportait, au départ, deux inconnues principales :

— les conditions hydrologiques que le cours d'eau présenterait au cours de la période s'écoulant entre le largage des matériaux radioactifs et leur détection. Ce que nous connaissons du régime de l'Hérault nous permettait de prévoir une crue au printemps et la date de l'expérience a été déterminée en fonction de ce fait. Par contre, il ne pouvait être question de préciser même l'ordre de grandeur des débits de cette crue, donc la compétence du cours d'eau, autrement dit la taille des particules dont on pouvait attendre le chargement ;

— les conditions du débit nécessaires pour assurer le chargement de particules de granulométrie donnée. Les résultats obtenus par les méthodes géomorphologiques sont, en effet, des résultats globaux nous permettant de déterminer un régime du transport des alluvions en période normale ou lors d'une crue exceptionnelle comme celle de l'automne 1958. Elles ne permettent pas d'établir des seuils de mise en marche de particules de taille déterminée. Rappelons que c'est justement l'objet principal de l'expérience entreprise que d'établir une relation débit/chargement pour un certain nombre de points situés le long du cours d'eau.

De telles conditions intrinsèques d'expérimentation exigent la répétition des expériences afin de pouvoir déterminer des seuils et l'allure d'une courbe. Un résultat isolé peut permettre tout au plus de reconnaître si le seuil cherché est inférieur ou supérieur à la valeur obtenue au cours de l'expérience correspondante. Il se valorise au fur et à mesure que le nombre de données s'accroît. Il permet de diminuer l'incertitude initiale lors des expériences suivantes.

Dans le cas présent, l'expérience comportait également un rodage pratique du matériel et des conditions de réalisation.

II. — CONDITIONS DE REALISATIONS.

Nous verrons successivement le largage et la détection des particules radioactives.

A) LE LARGAGE.

— Le corps radioactif.

Le matériel radioactif déversé en chacun des points était enfermé dans un tube et comprenait :

50 grammes de verre au tantale (12 % de tantale) en grain de diamètre 0,8/d/1 mm.

Radioactivité : 30 à 35 millicuries par tube.

Irradiation : 2 nuits + 1 week-end sous un flux de 2,1 à 3,3 U/cm² seconde. (U = unité).

Période : 110 jours.

Dans 110 jours nous aurons donc 30/2 millicuries.

Dans 220 jours nous aurons donc 30/4 millicuries, etc.

— Localisation des Marquages.

Il a été placé quatre marquages sur le cours de l'Hérault en des endroits divers pour avoir différents types de progression suivant la vitesse de l'écoulement.

a) SAINT-JULIEN-DE-LA-NEF.

Limite des départements du Gard et de l'Hérault, juste en face de la borne kilométrique indiquant le changement de département, sur la route suivant le cours de la rivière (route Ganges-Le Vigan).

Courant assez rapide, rive légèrement convexe (rive droite).

Face à double dalle couverte de lichens, face aussi à un ravinement récent dans le versant au-delà de la route. Ravinement, dalle recouverte de mousse et point de dépôts sont en ligne droite.

b) SAINT-ETIENNE D'ISSENSAC.

Aval de la gravière et amont du gué conduisant à cette dernière. Rive droite côté route, banc de galets juste en amont du moulin détruit extrémité amont de ce banc. Dans l'alignement du poteau électrique sur la route et d'une très forte éclaircie dans les fourrés rive gauche (roche à nue). Eau relativement calme en amont d'un gué. Sur le banc le matériel se trouve à 32 mètres de la route perpendiculaire à celle-ci, le sommet de l'angle droit étant le poteau électrique.

c) LE PONT DU DIABLE.

Sortie de la gorge du Pont du Diable, extrémité amont du chenal d'écoulement actuel, rive droite. Lors du largage, les grains n'ont pas été directement au fond mais se sont déposés sur toute une surface comprise entre une petite terrasse juste sous la route abandonnée et un arbre mort une dizaine de mètres plus loin. Courant très fort.

d) LE CANET.

Aval du pont du Canet ; sur l'île au bout du bras mort. Trouée dans les broussailles derrière une embâcle de troncs.

Courant assez fort, bord de chenal. Rivière endiguée.

B) LA DETECTION.

Le principe de la détection était très simple mais des problèmes se sont bien vite posés lors de son application.

— Le principe.

Avec un scintillateur Victooren, en partant du point où a été posé le matériel radioactif il est facile de suivre sa progression. Pour cela il suffit de faire un quadrillage à mailles serrées puis de construire ensuite des courbes d'isoradioactivité.

Les grains isolés se localisent aisément lorsque, lors du cheminement, on passe par des points où la radioactivité croît et décroît.

— Difficultés techniques.

Lors de l'expérience, le matériel même s'est révélé à l'usage insuffisamment adapté à ce que nous tentions : d'une part, le câble coaxial était trop court. Cet inconvénient a pu il est vrai être corrigé par la suite. D'autre part, un faux contact à l'entrée du câble coaxial dans le scintillateur a rendu en avril certaines mesures très précaires.

En fait ces défaillances n'entrent pas en ligne de compte et pourront très vite être corrigées. Le véritable problème est celui de la localisation des largages. Nous espé-

rions, lors des largages, en février, avoir quatre points bien différents : un bief à courant très faible, un autre à courant fort, un bord de chenal ; et un point en amont d'un gué.

Mais par suite des conditions de sécurité qui, chaque fois, ont dû l'emporter sur les considérations géomorphologiques, certains points ne répondaient plus tout à fait à l'idée première. Il faudrait donc à l'avenir concilier sécurité et site géomorphologique pour obtenir de meilleurs résultats.

Enfin un problème nous était apparu pratiquement insoluble lors de l'expérience de printemps : par suite de la violence et de la rapidité du courant, la personne tenant l'appareil au milieu de la rivière risquait à tout instant d'entrainer dans sa chute l'appareil. Les mesures ne peuvent par ailleurs être faites par bateau, le courant étant beaucoup trop violent pour effectuer un quadrillage précis. Nous verrons plus loin comment résoudre ce problème.

III -- RESULTATS OBTENUS.

En dehors des résultats pratiques obtenus au sujet des conditions matérielles de réalisation de l'expérience et de l'amélioration du matériel de détection, cet essai préliminaire a abouti à certaines conclusions scientifiques dont l'importance est loin d'être négligeable. Une partie des résultats se présentent de manière négative ce qui, cependant, constitue des données d'une incontestable utilité.

Comme cela a été indiqué plus haut, une partie seulement des stations de largage ont pu être utilisées pour les détections ultérieures. Dans les deux sections valables, une migration nette des sables a pu être relevée.

a) SAINT-ETIENNE D'ISSENSAC.

Trois mesures ont été effectuées entre février et juillet.

1) Mesure du 20 février, 24 heures après le largage.

Distance entre deux mesures : 1,30 m. en ligne et en colonne. Mouvement propre : 30 m.

Aval	Amont							
30	30	30	20	30	30	20	20	
30	20	20	30	30	30	20	20	
30	30	1 500	1 500	30	200	30	20	Eau
30	30	1 500	1 500	40	40	40	20	
30	40	1 500	1 500	40	40	30	30	
30	50	50	60	50	10	10	30	
40	60	60	100	100	70	60	60	
50	60	60	90	600	70	60	60	
50	60	70	60	60	100	60	60	Sable de la berge

Profondeur : 50 cm à 1 m d'eau.

2 390

2) Mesure d'avril (1 et 2 avril).

Point de mesure distant de 1,50 m.

Mouvement propre : eau 400 à 500,
air 700 à 900.

800	800	900	400	500	30 000	500	500
700	2 500	12 500	500	7 000	20 000	500	500
800	700	900	500	400	35 000	20 000	500
800	700	900	500	1 000	30 000	20 000	500
800	900	500	500	500	500	10 000	4 000
900	800	500	500	700	500	10 000	2 000
800	900	500	500	500	500	500	4 000
900	900	500	500	500	500	500	4 000
900	900	500	500	500	500	500	4 000

L'appareil était différent de celui de février, ce qui donne des valeurs 15 à 20 fois supérieures.

3) Mesure de juillet.

Aucun grain n'a pu être retrouvé ; partout, nous avons mesuré :

Mouvement propre de l'air : 40.

Mouvement propre de l'eau : 30.

Les résultats de ces mesures sont les suivants :

— le débit réalisé le 19 février 1959 ne permettait pas la prise en charge du matériel sableux utilisé lors du largage. Nous nous trouvons donc en dessous du seuil de transport des sables grossiers dont la mise en marche exige des hauteurs d'eau plus élevées et des courants plus violents. Le débit maximum réalisé au cours de la période du 19 février au 2 avril dépasse faiblement le dit seuil : les sables radioactifs ont subi un commencement d'entrainement mais leur transport est resté très limité. La plus grande masse des particules s'est déplacée de quelques mètres et est allée se loger dans le chenal le plus voisin. Ce fait peut s'interpréter hydrodynamiquement de la manière suivante : lors de leur lâchage, les particules ont été posées sur le fond et ne se sont pas imbriquées dans la masse alluviale mise en place lors d'une crue précédente. Elles sont restées libres à la surface du fond du lit. Lorsque le courant s'est accru, elles ont pu être prises en charge et subir un commencement de transport qui les a amenées dans le chenal voisin alors que les particules naturelles de même taille imbriquées les unes

dans les autres n'ont pas nécessairement été transportées. Ce dernier fait nous est suggéré par la faible dilution du matériel radioactif redéposé dans le chenal ;

— le débit maximum réalisé entre le 2 avril et le 26 juillet, a, au contraire, dépassé nettement le seuil de prise en charge des sables grossiers. Les particules radioactives ont été entièrement dispersées et mélangées aux alluvions naturelles de telle manière qu'elles n'ont pu être reconnues. Alors, que, au cours de la période précédente, seules les particules radioactives non imbriquées dans la masse alluviale avaient subi un remaniement local sur une distance de 1 à quelques dizaines de mètres, au cours d'une ou plusieurs crues de la période avril-juillet, les particules radioactives, cependant imbriquées dans la masse alluviale, donc placées dans des conditions rigoureusement identiques aux alluvions naturelles, ont été brassées intensément avec ces dernières et diluées dans leur masse ce qui implique un transport important de la fraction sableuse des alluvions.

b) SAINT-JULIEN-DE-LA-NEF.

Les conditions géomorphologiques sont bien différentes de Saint-Etienne d'Issensac comme nous l'avons vu au paragraphe II. L'échantillon avait été déposé dans un chenal où l'on pouvait s'attendre à ce que la migration des alluvions soit beaucoup plus facile, c'est ce qui a été effectivement observé :

1) Mesure de février :

Distance entre deux mesures : 1,10 m environ.																Dans l'eau
40	50	45	60	30	50	40	50	50	40	40	40	40	40	40	40	
50	50	45	160	50	900	50	50	50	50	40	30	50	60	40	40	
50	70	100	15 000	9 000	450	60	60	40	60	40	60	50	40	40	40	
60	70	110	15 000	2 000	120	80	70	70	70	50	70	50	50	50	40	
80	110	170	400	220	120	80	80	70	80	60	70	70	70	70	50	
80	110	110	170	140	100	80	80	70	70	70	70	70	70	60	60	
80	100	100	130	140	100	80	80	70	70	70	70	70	70	70	60	Berge

2) Mesure de juillet :

Nous n'avons pu retrouver de grain, et n'avons pu mesurer que le mouvement propre de l'air : 70 ; mouvement propre de l'eau : 60.

— Dès le 20 février, 24 heures après le largage, une migration très nette a été observée. L'échantillon s'est étalé à la manière d'une flamme en aval du point de largage. Le front de la nappe de particules radioactives s'est avancé de 3,30 m par rapport au point du largage qui avait été déposé sur le fond. Ce fait nous confirme que la hauteur d'eau réalisée le 19 février est nettement inférieure au seuil de migration des particules dans un chenal de cette partie du cours de l'Hérault. L'expérience nous donne également un ordre de grandeur de la *vitesse de déplacement*, qui pourra utilement être comparé avec d'autres vitesses correspondant à des hauteurs d'eau différentes.

— Entre février et juillet 1959, les conditions ont permis une migration des sables alluviaux suffisamment importante pour provoquer une dilution complète des particules radioactives dans les alluvions et leur évacuation lointaine. Bien qu'aucune détection systématique ait pu être faite, tout nous donne à penser que la situation réalisée en mars était déjà celle du mois de juillet. En effet, les points de détection effectués n'ont permis nulle part le repérage de particules radioactives. Par ailleurs, ce que nous savons des caractéristiques de la station comparées à celles de Saint-Etienne d'Issensac nous incite à admettre une migration beaucoup plus facile et rapide de la fraction sableuse des alluvions.

Les résultats que nous venons de relater sont en nombre insuffisant : le coût élevé des expériences avait déjà obligé à limiter le nombre de stations de largage ; les conditions même de réalisation des expériences ont occasionné un déchet de 50 % parmi les stations. Dans ces conditions, on doit considérer comme très satisfaisant le fait que la tentative réalisée, confrontée avec nos analyses morphodynamiques permette de préciser un point important du régime des charriages alluviaux sur l'Hérault.

Le charriage des sables s'effectue déjà avec des débits relativement faibles réalisés pendant un nombre de jours relativement considérables de l'année. Un dépouillement statistique des données hydrométriques permettra de préciser ce point.

Ce transport de sable est corroboré par les résultats de l'analyse morphométrique des galets de l'Hérault dont l'indice d'émoussé

élevé implique une action abrasive intense. Cet exemple montre le mutuel appui que peuvent se prêter les méthodes du C.E.A. et du Laboratoire de Géographie Physique du C.G.A.

Du point de vue pratique, l'importance de ces charriages sableux est considérable et devra être prise en considération, principalement pour le haut bassin, lors de l'établissement des projets d'ouvrages de défense contre les crues. Les ravages causés par ces dernières font que ce résultat, à lui seul, est d'une importance bien supérieure à celle qui suffirait à justifier l'expérience entreprise.

b) Adaptation de la méthode.

L'expérience entreprise sur l'Hérault est donc nettement positive. Elle incite à rechercher des perfectionnements permettant la mise au point d'une méthode suffisamment précise et sûre qui aura sa place, à côté des méthodes déjà existantes, dans l'analyse de la dynamique des cours d'eau. Ce résultat pourra être obtenu de la manière suivante :

en prenant davantage en considération les caractéristiques géomorphologiques du lit fluvial pour le choix des stations de marquage. Comme nous l'avons vu, au cours de l'expérience préliminaire, les conditions de sécurité ont été trop unilatéralement prises en considération. Lors d'autres essais, il sera nécessaire de concilier davantage les différents points de vue. Dans les cours d'eau où le transport des sables est intense, il y a intérêt à ce que les largages de sables radioactifs soient effectués ainsi que nous l'avions conseillé sur des banes alluviaux et non sur des chenaux. Dans les chenaux, en effet, le matériel est très difficile à détecter par suite de la profondeur de l'eau qui interdit les mesures dès que le débit augmente tant soit peu ; par ailleurs, la rapidité du transport fait que la détection s'avère le plus souvent impossible après une courte durée ;

— la grande mobilité des sables dans l'Hérault a rendu l'expérience beaucoup plus délicate que les marquages radioactifs de galets dans le Var. De la sorte, d'autres expériences sont nécessaires pour préciser la méthode à suivre et obtenir des résultats généralisables. Sur l'Hérault lui-même, nous suggérons l'utilisation, au cours d'une nouvelle série d'expériences d'un matériel plus grossier donc moins mobile. Il nous semble que les granules de 2 à 5 mm ou même des graviers de 1 cm constituerait un matériel adéquat, susceptible de n'être entraîné que pendant un nombre de jours beaucoup plus réduit et sur des distances beaucoup plus faibles.

— La mise au point de la méthode, dont on peut espérer qu'elle permettra l'établissement de courbes débit/charriage exige la multiplication des mesures. Celles-ci pourraient être plus aisément entreprises sur des cours d'eau plus favorables que l'Hérault. Nous suggérons donc le choix, par commun accord entre le Centre d'Etudes Nucléaires et le C.G.A. d'un ou de deux cours d'eau proches de Strasbourg et dont les caractéristiques hydrologiques seraient mieux connues. Les marquages, étroitement adaptés au milieu géomorphologique pourraient être l'objet d'observations semi-permanentes ce qui permettrait, avec la même dépense de matière radioactive, une détermination plus précise des seuils de charriage. Les cours d'eau de la région étant caractérisés par des crues d'hiver et de printemps, l'expérience pourrait être tentée valablement d'ici un temps assez court.

Strasbourg, le 19 octobre 1959.

**

Post-Scriptum : Depuis que l'étude ci-dessus était rédigée, nous avons eu connaissance de l'emploi d'autres méthodes, notamment celle des luminophores, à laquelle nous consacrons dans cette revue un important article. Dans les *Petermanns Mitteilungen*, AJBULATOV (N.), BOBDYREV (V.) et GRIESSEIN (H.), ont

fait une mise au point comparative des conditions d'utilisation des traceurs radioactifs et des luminophores (voir fiche n° 1254).

Leurs conclusions rejoignent les nôtres.

La méthode des traceurs radioactifs est d'application difficile dans les cours d'eau par suite :

a) des impératifs de sécurité qui obligent à effectuer les lâchages dans des conditions souvent peu adéquates du point de vue géomorphologique ;

b) de la nécessité de multiplier les expériences avec un matériel trop coûteux ;

c) des difficultés de repérage des matériaux marqués après transport ;

d) de l'impossibilité de recommencer une nouvelle expérience tant que la radioactivité du matériel lâché précédemment persiste.

Ces inconvénients sont beaucoup moindres pour le transport littoral des sables ou pour le charriage des galets. C'est ce qui explique que les expériences les plus réussies sont celles qui ont porté sur de tels cas.

Pour l'étude des charriages de sable dans les cours d'eau, il semble donc que la méthode soviétique des luminophores soit plus satisfaisante. Nous souhaitons pouvoir l'appliquer et en tenter la mise au point en France, où, à notre connaissance, elle n'a jamais été utilisée.

Strasbourg, le 20 janvier 1962.