CONFERENCE SUR L'HYDROLOGIE TROPICALE.

p a r
J. RODIER.

COOPERATION TECHNIQUE A.S.T.E.F.
Stage des perfectionnements 1963
"Barrages et Ouvrages Hydroélectriques"

CONFERENCE sur L'HYDROLOGIE TROPICALE

par J. RODIER

Ingénieur en Chef à Electricité de France

Chef du Service Hydrologique de
l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Nous allons examiner ensemble, au cours de cette conférence, en premier lieu les caractères généraux des régimes hydrologiques tropicaux, puis les méthodes d'observations et de mesures qui semblent les mieux adaptées à ces régions tropicales et enfin les procédés d'interprétation.

On laissera au terme "tropical" son sens le plus commun, c'est-à-dire que, dans ce qui suit, il sera question à la fois des régimes que les hydrologues quelifient de tropicaux et de ceux qu'ils désignent sous le nom d'équatoriaux.

Il existe une très grande variété de ces régimes, puisque les précipitations annuelles varient de 20 mm à plus de 10 000 mm, que certains cours d'eau présentent en moyenne une crue par an durant quelques heures, alors que d'autres, abondants et réguliers, ne voient pas leur débit varier de plus de 20 % entre "l'étiage absolu" et le maximum annuel".

Je n'entreprendrai pas de les décrire tous, d'abord parce que certains me sont peu familiers et, ensuite, parce qu'il faudrait plusieurs conférences pour y parvenir : nous procèderons simplement à une rapide vue d'ensemble.

Tous ces régimes sont déterminés par le comportement des alizés ; il en résulte, dans presque tous les cas, des périodes de précipitations apparaissant à des époques très régulières au cours de l'année, d'où une succession de saisons sèches et de saisons des pluies bien marquées : une saison sèche et une saison des pluies en régime tropical, deux saisons sèches et deux saisons des pluies en régime équatorial.

Si nous considérons l'Afrique Occidentale pour laquelle le schéma est le plus simple, on rencontre les hydrogrammes annuels que nous allons vous présenter : ces hydrogrammes sont tous établis pour de grands bassins sur lesquels la dentelle des crues individuelles a presque disparu.

Au Nord, le diagramme sahélien : pointe de 2 mois-2 mois 1/2, au milieu de 9 à 10 mois avec lit apparent à sec. La courte saison des pluies donne lieu à des phénomènes d'écoulement qu'on peut qualifier d'anarchiques, avec une tendance très nette à l'endoréisme. Ce régime très important correspond à la zone semi-aride où l'irrigation présente un intérêt vital.

Ensuite, le diagramme tropical : un hydrogramme de hautes eaux de 3 à 4 mois, un tarissement très net se poursuivant jusqu'à l'étiage d'avril-mai. , une période de transition de mai à juillet, correspondant aux premières averses isolées de quelque importance.

Puis, le diagramme équatorial avec ses deux pointes.

Au Sud de l'équateur, on rencontre également le régime tropical et le régime sahélien.

Les températures moyennes annuelles sont assez élevées (sauf en altitude) ; elles présentent des variations saisonnières notables en saison sèche avec un maximum juste avant la saison des pluies. Ces variations sont, par contre, beaucoup plus réduites dans les zones équatoriales. Ces températures élevées conduisent à une évaporation forte : sur nappe d'eau libre, elle varie de 0,80 m - 0,90 m depuis les zones équatoriales à près de 3 m par an au SAHARA. Si le sol n'offre pas de capacité de rétention, le tarissement sera rapide et les étiages sévères, à moins que les précipitations ne s'étendent sur presque toute l'année, ce qui arrive en régions équatoriales.

Pour la même raison, le déficit d'écoulement sera élevé. Presque égal aux précipitations en régime désertique, il passe par un maximum de 1400 mm au voisinage des zones équatoriales, puis décroît jusque vers 900 mm à l'équateur, dans les zones les plus arrosées.

Mais la répartition des précipitations au cours de l'année joue un très grand rôle. Pour des régions tropicales à pluies concentrées sur trois mois, le déficit est beaucoup moins élevé que pour des régions voisines de la zone équatoriale où les pluies sont réparties sur toute l'année.

On conçoit que le caractère régulier du régime des alizés présente deux conséquences importantes :

- 1°) Le régime hydrologique est en général le même sur d'immenses superficies s'allongeant le long des parallèles, ce qui pallie la faible densité des réseaux hydrométéorologiques. Ceci est inexact dans le cas de chaînes de montagnes très élevées par exemple en Afrique au voisinage des Grands Lacs, où forêt humide et brousse subdésertique à épineux voisinent au gré de la hauteur de précipitations annuelle. On constate également cette influence du relief dans les ANDES, mais il faut des altitudes de 2000 m et de fortes pentes pour aboutir à ce résultat.

- 2°) Dans les années extrêmes, très sèches ou très humides, l'hydraulicité est la même tout le long des bandes climatiques indiquées plus haut :

La grande sécheresse de 1913 à sévi du SENEGAL au NIL. L'année humide 1955 a eu une extension aussi grande que l'année sèche 1913. Dans les régions équatoriales, l'année sèche 1958 a été notée de l'AMAZONIE jusqu'au centre du CONGO.

Même pour des années moins sèches ou moins humides, les graphiques de variations d'hydraulicité ont la même allure pour des rivières distantes de plusieurs centaines de kilomètres, présentant les mêmes séries d'années fortes et faibles, ce qui est bien commode pour compenser la faible densité des observations et leur faible durée : nous reviendrons plus loin sur ce point.

Quant aux crues, elles sont provoquées par trois types de fortes précipitations :

- 1°) Les grains orageux, appelés "tornades" en Afrique Occidentale, qui prédominent dans les régimes tropicaux ou dans certains régimes équatoriaux. Ce sont des averses courtes et violentes : pour une fréquence annuelle, l'intensité maximale instantanée dépasse généralement 100 mm/h. Ces averses couvrent de faibles superficies ; elles se propagent suivant des trajectoires grossièrement perpendiculaires à des lignes de grains.

- 2°) Des averses prolongées, appelées "pluies de mousson" dans les mêmes régions. Elles durent 4 ou 5 heures mais sont moins intenses que les précédentes.

- 3°) Les cyclones ou typhons, averses très prolongées accompagnant les tempêtes qui caractérisent ces phénomènes. Elles couvrent de grandes superficies et présentent en 24 heures des totaux imposants : 300, 400, 500 mm et même jusqu'à plus de 1000 mm en certains points de l'Océan Indien. Elles sévissent dans les régions soumises à des influences maritimes : MADAGASCAR, MASCAREIGNES, AMERIQUE TROPICALE, ANTILLES, JAPON, INDOCHINE.

Dans de nombreuses régions tropicales, les crues exceptionnelles des petits cours d'eau résultent de très fortes tornades de forme bien connue, ce qui rend assez facile la détermination des débits correspondants et justifie le développement des méthodes analytiques.

Sur les très grands bassins (en dehors des régions à cyclones ou à typhons), les crues sont dues à une saison des pluies particulièrement abondante ; les crues des divers affluents coïncident presque systématiquement, ce qui rend les études de fréquence plus faciles. Un autre élément de simplification est dû au fait que les fleuves sont restés à l'état naturel, avec de larges plaines d'inondation où les pertes par évaporation sont énormes, d'où une régularisation naturelle donnant une forme particulière aux courbes de débits maximaux en fonction de leur fréquence. (Phénomène de l'écrasement des crues).

Les bassins de dimensions comprises entre 500 et 2000 km2 offrent de très sérieuses difficultés pour la détermination des crues exceptionnelles ; les méthodes utilisées pour les très petits bassins ne sont plus valables et il n'existe que très rarement de longues séries d'observations.

Dans les régions à cyclones ou à typhons, les débits de crues exceptionnelles sur les grands bassins sont beaucoup plus élevés que dans le cas précédent. Pour une fréquence cinquantenaire par exemple et une même superficie, le débit spécifique peut être de 300 $l/s.km^2$ au lieu de 80 à 100 $l/s.km^2$. Ceci tient à la répartition homogène des précipitations.

Dans les régions où coexistent cyclones et tornades, il peut se produire que les crues exceptionnelles sur bassins de moins de 300 km^2 soient dues à des tornades et, sur plus de 300 km^2, à des cyclones.

Toutes ces averses à assez forte intensité provoquent une érosion importante dès que l'épaisse végétation naturelle est détruite pour la culture, ou au début de la saison des pluies, dans les régions les plus arides, alors que la couverture de graminées a disparu.

L'hydrologue rencontre sur le terrain de réelles difficultés, difficultés qui sont responsables de la faible densité du réseau de stations de mesures et de la brièveté des périodes d'observations. Dans certains pays, les relevés pluviométriques ne dépassent pas une quinzaine d'années, encore convient-il de ne pas se montrer trop difficile sur la qualité des observations.

Il est en effet difficile de trouver des observateurs, soit en raison du faible degré de scolarisation, soit en raison de la très faible densité de la population. Nous connaissons certains pays où l'observateur représente la seule personne sachant lire dans un rayon de 50 ou 100 km. Sa mort ou son départ pour une autre région pose de sérieux problèmes.

Installer des enregistreurs est tentant, mais n'oublions pas que changer correctement une feuille de diagramme est plus difficile que lire une échelle. On s'oriente alors vers des limnigraphes et pluviographes où cette opération ne doit être faite que tous les mois et tous les trois mois, mais ce n'est pas pour cela que le problème est résolu.

A supposer, cas favorable, que l'appareil ne puisse être ni volé, ni saboté, il rencontre, si bien conçu soit-il, de très nombreuses occasions de se mettre en panne : mouches maçonnes dans l'appareil, méfaits de l'humidité, entonnoir qui se bouche pour un pluviographe, obturation du tuyau d'amenée, blocage du flotteur pour les limnigraphes de type classique, etc... Dans ce cas, au lieu de perdre quelques jours, comme cela se produirait avec un observateur, on peut perdre un ou deux mois.

Les mesures de débits rencontrent les difficultés suivantes : manque de ponts sur les grands cours d'eau, manque d'entreprises sur place pour réaliser les stations de jaugeage et, surtout, difficultés de circulation en saison des pluies.

Il est fréquent que, pour un jaugeage de très hautes eaux, la première difficulté consiste à atteindre la station avec le matériel, la seconde à traverser le câble de jaugeage ou à maintenir le bateau aux points de mesure.

Enfin, le manque de personnel qualifié s'ajoute à tout ceci.

On comprend que, dans ces conditions, l'étalonnage des stations ne soit pas toujours très avancé.

Voilà quelles sont les caractéristiques essentielles de l'hydrologie tropicale ; quels sont les principes qui doivent en découler pour les études ?

On comprendra aisément, d'après ce qui précède, que dans les régions tropicales et équatoriales, les observations et mesures sur le terrain jouent un rôle capital. Le mécanisme déductif le plus savant est absolument inefficace s'il fonctionne à vide, c'est-à-dire à partir de données d'observations insuffisantes.

Lorsque l'hydrologue, sollicité pour l'étude d'un barrage par exemple, fait le bilan des données dont il dispose, il est bien rare qu'il soit satisfait, même s'il a l'habitude de se contenter de peu. La situation dans ces régions est presque toujours la même : stations pluviométriques et hydrométriques trop peu nombreuses, périodes d'observations trop courtes.

A lointaine échéance, le remède est dans la création de services hydrologiques. Mais il convient de s'entendre sur ce terme. Un service qui se contente de payer (mal) les observateurs, de recevoir les feuilles de relevés et de les classer est très peu efficace. En général, 20 % de ces résultats sont utilisables. Il faut que le service hydrologique ait les crédits suffisants pour faire contrôler, par un hydrologue compétent, les observateurs une fois tous les trois mois, faire entretenir régulièrement les stations et exécuter des jaugeages depuis le débit d'étiage jusqu'au maximum annuel. Un tel programme suppose du personnel qualifié mais aussi des crédits, des véhicules, des bateaux et du matériel hydrométrique ; ce n'est d'ailleurs pas ce dernier poste qui coûte le plus cher. Tout technicien qui a à s'occuper d'hydraulique doit donc s'efforcer d'aider au maximum le service hydrologique de son pays et souligner l'intérêt de ses travaux.

Avec un service hydrologique convenable, on dispose, pour tout projet, de notions générales sur le régime, d'une station de référence avec 20, 30 ou 40 ans d'observations, ce qui est absolument irremplaçable et peut-être, si le service est riche, d'un ou deux bassins expérimentaux.

Mais, dans l'immédiat, il n'est pas toujours possible d'attendre le bon fonctionnement d'une telle organisation. Il est donc presque toujours nécessaire de procéder au moin à un complément d'études sur le terrain.

Tout d'abord, il convient d'exploiter ce qui existe, de rechercher les relevés anciens et de les valoriser en complétant, s'il y a lieu, la courbe d'étalonnage. Puis il faut, sur le terrain, réaliser un certain nombre d'aménagements. Nous donnerons deux exemples :

- 1°) Cas d'un aménagement hydroélectrique très important. Les opérations suivantes sont à réaliser :

- a) Chercher une station de référence observée déjà depuis au moins quelques années. En achever l'équipement s'il y a lieu et compléter l'étalonnage.

- b) Installer au site de la prise d'eau ou du barrage une station de jaugeage à étalonner complètement.

- c) Sur chacun des affluents importants, installer une station secondaire.

- d) Dans toute la mesure du possible, aménager un ou plusieurs bassins expérimentaux : l'idéal serait d'en avoir un par région naturelle. Les stations climatologiques de ces bassins seront prévues pour l'étude de l'évaporation et l'observation fine des précipitations. Stations secondaires et bassins expérimentaux permettront de bien connaître les réactions aux précipitations des diverses parties du bassin, ce qui est absolument indispensable pour estimer, sans trop de risques d'erreurs, les caractéristiques hydrologiques après seulement quelques années.

Si la station de référence n'est pas observée depuis 20 ou 30 ans, il faut faire l'impossible pour trouver, même si l'on doit chercher assez loin, une station de même régime, correspondant à une même superficie de bassin versant et suivie depuis une période assez longue.

Bien entendu, cet équipement du bassin doit être une des premières opérations à effectuer pour une étude hydroélectrique. Il est fréquent, d'ailleurs, qu'une partie des stations secondaires ou des bassins expérimentaux soit déja installée pour d'autres raisons.

- 2°) Cas d'un axe routier ou ferroviaire très important :

Le problème posé est de déterminer les normes de calcul des débouchés de ponts. Dans ce cas, en 2 ou 3 ans, il est possible de lancer une campagne de bassins expérimentaux qui permettra de fournir les débits de crues décennaux, à partir des précipitations. En même temps, on installera quelques stations secondaires sur les moyens cours d'eau.

Si les crédits disponibles sont faibles, on peut n'étudier que les régions dont le ruissellement est le plus élevé. C'est une étude assez complète de ce genre qui a été faite pour l'évacuation du manganèse de MOANDA.

Tout ce travail de terrain doit être effectué en tenant compte du résultat à atteindre, des conditions naturelles et des crédits disponibles.

Bien sûr, avec une station téléphérique à nacelle, on arrivera presque toujours à jauger n'importe quel cours d'eau, mais à quel prix ! Dans certains cas cependant, c'est la seule solution. Sur les grands cours d'eau de MADAGASCAR, nous avons installé trois stations téléphériques et nous regrettons bien de ne pas les avoir prévues avec nacelles.

Mais très fréquemment, il sera possible de mesurer tous les débits depuis l'étiage jusqu'aux fortes crues avec un canot pneumatique et un câble fixe ou traversé à chaque opération. Notons que pour les très larges rivières, où il n'y a pas de pont et pour lesquelles il est difficile de tendre des câbles, on peut ancrer le canot ou le maintenir immobile entre deux balises et repérer sa position au cercle hydrographique.

Il ne faut pas négliger l'usage des flotteurs qui, bien employés, en particulier avec l'usage de la méthode des deux chronomètres et le tracé de la courbe des vitesses superficielles, fournissent, pour les très grandes crues, une précision souvent acceptable.

Pour les torrents, la méthode chimique est souvent irremplaçable, mais il faut que le personnel y soit bien entraîné. Enfin, pour les très petits cours d'eau, ne négligeons ni l'emploi des capacités jaugées, ni celui des déversoirs.

Deux points sont à souligner :

- 1°) L'hydrologue doit avoir "dans son sac" suffisamment de procédés pour ne jamais être pris de court quelles que soient les circonstances. Le pire qui puisse lui arriver, c'est de vérifier la vitesse des arbres descendant le courant, au milieu, au premier quart, au dernier quart, sans oublier de noter la hauteur d'eau.

- 2°) Le dépouillement doit faire l'objet d'un contrôle serré de la part du "senior hydrologist" : il ne faut jamais jeter ni carnets de jaugeages, ni diagrammes de vitesses.

Pour les bassins expérimentaux, il s'agit, sur une assez petite surface (2 à 30 km^2), de mesurer à la fois les précipitations et les débits (y compris les plus fortes crues s'il s'en produit). Il faut au moins 6 à 12 pluviomètres suivant la superficie et le relief, 2 pluviographes, une station de jaugeage équipée très simplement : lit naturel stabilisé avec gabions ou bandes de béton s'il le faut, passerelle en tubes démontable. Si le débit maximal escompté est assez faible, on peut construire des petits déversoirs ou des venturis en béton, en métal ou en bois, mais ceci est peu recommandé dès que la crue décennale dépasse 2 à 3 m^3/s.

Observations et dépouillement doivent être faits suivant des normes standard qu'il n'est pas possible d'exposer ici.

Comme toujours dans ces régions, simplicité et rusticité des procédés sont des facteurs de succès.

Il est très fréquent que l'hydrologue doive diriger lui-même ces opérations. Il doit donc être relativement polyvalent : ne pas être ignorant, en particulier, de la mise en oeuvre du béton, de la charpente en bois ou métallique.

Nous en arrivons maintenant aux problèmes d'interprétation :

La première caractéristique à déterminer, le débit moyen annuel ou module, est relativement facile. Lorsque l'on dispose de très peu de données, on déduit de la hauteur de précipitation le déficit d'écoulement qui commence à être assez bien connu en régions tropicales. Ce procédé n'est pas valable pour les régions à faible écoulement et conduit, de toute façon, à une assez grossière approximation.

Si on dispose de quelques années d'observations directes, il s'agit de déterminer ce que serait le module sur une très longue période. On améliore le résultat en reliant par corrélations le débit moyen annuel aux précipitations annuelles et en examinant comment se place la période d'observations, directes ou prolongées grâce aux précipitations, par rapport à la courbe d'hydraulicité de la région. D'où la nécessité de reconstituer de telles courbes. Ce procédé, très souvent valable en régions tropicales, est particulièrement précieux. S'il n'y a pas de courbe d'hydraulicité sur une longue série, on peut chercher une courbe de pluviosité à partir du pluviomètre le plus sérieux, observé depuis très longtemps. La méthode des doubles masses joue là un rôle précieux pour vérifier les données et reconstituer cette courbe de pluviosité (exemple de la CAPOT).

Le diagramme de variations saisonnières s'établit par comparaison entre les résultats directs de la station de jaugeage et les données de la station la plus proche observée depuis longtemps. Pour certains régimes en effet, une période de 4 ou 5 ans d'observations n'est pas suffisante pour bien déterminer ce diagramme (exemple de la BIA).

Le débit d'étiage est plus difficile à déterminer qu'on ne le pense. Les erreurs sur la partie basse de la courbe d'étalonnage sont plus fortes que sur la partie haute et les mesures, tout aussi délicates, exigent une bonne connaissance des conditions d'écoulement. Il faut 4 ou 5 ans d'observations pour obtenir l'étiage moyen et ceci à condition de vérifier s'il n'y a pas trop d'années trop abondantes ou trop maigres, et de considérer les valeurs médianes et non les valeurs moyennes.

L'utilisation de la courbe de tarissement est particulièrement utile.

La méthode de la charnière permet de combiner l'utilisation des courbes de tarissement et celle des corrélations pluies-débits. On appelle "charnière" un élément du régime, parfois fictif, fixé une fois pour toutes : par exemple, le débit au 1er Juillet, pris sur la courbe de tarissement pour les rivières des Hauts Plateaux de Madagascar. Cette caractéristique doit pouvoir, d'une part, se rattacher par corrélation aux précipitations de la saison des hautes eaux et, d'autre part, servir de point de départ à la courbe de tarissement, d'où le nom que nous lui avons donné.

Si le tarissement n'est pas pur et c'est, en particulier, le cas des rivières des Hauts-Plateaux de MADAGASCAR, une corrélation pluie-débit intervient à nouveau pendant la période des basses eaux, mais seulement comme terme correctif.

Cette période, en rendant possible l'extension des données dans le domaine des basses eaux, permet d'approcher avec plus de sûreté le problème des étiages de faibles fréquence. Ces dernières caractéristiques sont en effet presque aussi difficiles à saisir que les crues exceptionnelles.

La détermination des crues exceptionnelles nécessiterait à elle seule toute une conférence. Il faut d'abord éliminer deux cas difficiles :

- Les crues exceptionnelles sont-elles constituées par des barrages naturels de boue et de débris divers qui se constituent au cours de très fortes précipitations et cèdent, donnant lieu à des débits énormes ? (Cas des ANDES).

- Sont-elles dues à des cyclones ou typhons ?

Dans le premier cas, il n'y a guère de méthodes de calcul : a priori, il faut s'attendre à des débits de 10 000, 20 000 m^3/s sans grand rapport avec la superficie du bassin versant.

Dans le second, on doit inclure même les bassins en bordure des zones à cyclones ou à typhons car ceux-ci peuvent déborder. Deux procédés :

Si on dispose de peu de données, utiliser les courbes-enveloppes (débit-superficie), concernant les régions à typhons ou à cyclones, en traçant si possible la courbe correspondant à la fréquence décennale qui servira de guide à la courbe des débits maximaux. Placer les points d'autant plus près de la courbe des maximums que la région semble plus dangereuse (fortes pentes, fortes précipitations cycloniques). Si on dispose d'assez de données, déterminer l'épisode pluvieux maximum avec sa répartition dans le temps et l'espace et reconstituer la crue correspondante par la méthode des hydrogrammes synthétiques. Ne pas employer, autant que possible, d'estimations statistiques directes à partir des débits, elles risqueraient fort de conduire à des erreurs.

Ces deux cas étant éliminés, il reste le problème le plus classique des régimes à mousson.

Cas des grands et assez grands bassins : en général, une crue exceptionnelle correspond à une saison des pluies exceptionnellement abondante, les débits maximaux des affluents arrivant tous en même temps : comme d'habitude, la courbe des débits maximaux en fonction des fréquences est assez régulière. Si on dispose de plus de 50 ans d'observations, on peut tenter une étude statistique directe sur les débits par l'ajustement mathématique de la formule qui semblera la plus appropriée (formule de GOODRICH, PEARSON III, etc ...).

Si la période d'observations n'est que d'une dizaine d'années, on s'efforcera de déterminer la crue décennale en utilisant les observations directes, les précipitations, les quelques indices des grandes crues antérieures à la période d'observations et, enfin, la courbe générale d'hydraulicité dont il a été question plus haut car, pour des bassins de cette dimension, il y a corrélation assez étroite entre le volume annuel et le maximum annuel de débit. Ayant déterminé les crues décennales, on déterminera le rapport entre le débit de crue de fréquence plus rare et le débit de crue décennale, par comparaison avec les résultats obtenus sur les stations observées depuis au moins une cinquantaine d'années, d'où l'intérêt d'étudier à fond ces stations qui fourniront des éléments de comparaison. Dans la détermination de ce rapport, on tient compte des éléments d'irrégularité tels qu'ils résultent de l'étude des bassins expérimentaux, de la pente du sol, etc ...

Pour les petits bassins, on utilise directement les méthodes des bassins expérimentaux. On détermine l'averse décennale, puis on calcule la crue correspondante. Au premier stade, on détermine des tableaux tels que ceux qui ont été distribués, qui servent de modèle et qu'on utilise en tenant compte de la superficie du sol, de la pente, etc... des bassins dont on souhaite déterminer la crue décennale. Dans un second stade, on détermine, par régressions multiples, l'influence des divers facteurs : sols, pentes, végétation, etc ... et on peut appliquer des formules d'intérêt local pour des superficies voisines d'une des superficies standard : 25 km^2 par exemple ou 100 km^2. Pour passer d'une superficie à une autre, on peut utiliser soit des courbes, soit des formules empiriques locales.

Pour les très petites surfaces, de l'ordre d'un hectare par exemple, on considère les intensités pluviométriques maximales pour 5 minutes, 10 minutes, 15 minutes, etc ..., suivant la surface et on suppose que la pluie ruisselle à 90 ou 95 % sans amortissement du maximum de précipitations.

La difficulté principale réside dans les bassins de 500 à 5000 km^2 (ceci n'est pas valable pour les zones de typhons et cyclones où on peut utiliser la méthode des hydrogrammes synthétiques). Il n'y a guère de méthode valable de reconstitution, très peu de stations disposent d'observations sur une très longue durée, et c'est précisément la zone où la courbe des débits de crues en fonction des superficies présente de grandes variations de pente.

N'oublions pas la détermination de l'évaporation à la surface des réservoirs ; on utilise alors les données des bacs de classe A et des bacs Colorado, avec un coefficient variable suivant le type de bac, mais variable aussi suivant le microclimat du site du bac de référence, toute la difficulté est là.

Pour les transports solides, il est assez facile de déterminer les débits en suspension, lesquels ne dérivent des débits liquides que par un processus très indirect : turbidité plus faible à la décrue qu'à la crue, turbidité de début de saison des pluies plus forte que celle des dernières crues. Pour le charriage, une seule solution : l'étude des deltas.

Dans tout ce qui précède, on voit l'intérêt de disposer a priori de stations de référence pour lesquelles les courbes d'hydraulicité, les débits de crues de fréquence très rare sont bien déterminés (estimations qui sont faites généralement dans les grandes monographies), la nécessité de bons réseaux pluviométriques, de réseaux de bacs évaporatoires, de bassins expérimentaux.

Bien sûr, ce travail de base peut être fait dans le cadre d'un grand projet mais il s'agit alors d'une opération à but bien particulier et dans laquelle, malheureusement, les périodes d'observations sont trop courtes. Mieux vaudrait disposer d'un service hydrologique ayant des moyens suffisants.