

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

Service Hydrologique

Note technique N°9

Diffusion interne

TRAITEMENT SYSTEMATIQUE
DES OBSERVATIONS HYDROMETRIQUES
EN CALCUL AUTOMATIQUE

par

Marcel ROCHE

I - GENERALITES

En Septembre 1967, notre Service commencera la mise en cartes perforées des données d'observations hydrométriques et pluviométriques en vue de leur traitement automatique. Ce traitement sera effectué par la suite au futur centre de calcul de l'CRSTOM en cours d'élaboration par une Commission interdisciplinaire.

Le but final de l'opération est de soulager les sections locales et le Bureau central du travail ingrat de traduction et de réduction des données. Mais pour l'atteindre, il est indispensable que tous les responsables des sections en comprennent la portée et y collaborent de leur plein gré.

L'opération de mise en cartes perforées est la première phase du transfert des données manuscrites sur un support matériel qui puisse être accepté par un ordinateur. Cartes ou rubans perforés constituent un stade intermédiaire quasi obligatoire ; le choix de l'un ou de l'autre procédé ne préjuge en rien de l'utilisation ultérieure qui peut être faite des données à partir de supports magnétiques ou en conservant un support mécanique. Cependant, si l'emploi de la bande perforée se justifie dans le cas d'un enregistrement mécanographique direct des données par l'appareil de mesure lui-même, sa lecture automatique est beaucoup plus lente que celle des cartes correspondantes et son exploitation courante pour résoudre tel problème spécifique faisant appel aux données est quasi impossible. C'est pour cela que d'ordinaire, tout au moins en hydrologie, si à l'origine l'appareil de mesure enregistre sur bande perforée, la première opération consiste à transférer sur cartes perforées les données de la bande. On conçoit que dans ces conditions, le choix du premier support d'information s'imposait à nous, qui ne pratiquons pas encore la perforation par l'appareil de mesure, de façon impérative.

Une autre considération est à prendre en compte dans le cas des données hydrométriques : à partir de quel degré d'élaboration va-t-on introduire le calcul automatique. Une des premières choses qu'apprend en ses débuts l'ingénieur ou le technicien hydrologue est qu'en pratique le débit d'une rivière à une station donnée et à un instant donné s'obtient en lisant une hauteur d'eau sur une échelle, puis en introduisant cette hauteur dans une courbe d'étalonnage pour savoir à quel débit elle correspond. Mais ceci suppose que l'on a établi cette courbe d'étalonnage, c'est-à-dire la relation entre la hauteur et le débit, ce qui suppose qu'un certain nombre de mesures directes des débits correspondant à un certain nombre de

hauteurs à l'échelle ont été effectuées.

Or une mesure directe du débit ne s'obtient pas par une simple lecture sur un appareil. Elle est le fruit d'un calcul assez complexe portant sur des séries de mesures de vitesses, de profondeurs et de largeurs. S'il s'agit d'une mesure au moulinet, on sait que la succession des opérations de dépouillement est la suivante :

- Calcul de la vitesse en chaque point au moyen de la formule de tarage du moulinet,
- report de ces vitesses en regard de la profondeur du point correspondant après éventuelle correction de dérive,
- interpolation graphique entre les points : tracé des paraboles de vitesses,
- calcul des débits linéaires (p.u) par intégration des paraboles,
- tracé de la courbe des p.u suivant la largeur de la rivière et intégration de cette courbe pour obtenir le débit total.

Toutes ces opérations peuvent parfaitement être effectuées de façon totalement automatique sur ordinateur en introduisant sous une forme convenable les éléments (temps, nombres de tours, profondeurs, etc...) mesurés durant le jaugeage, et en appliquant un programme de calcul adéquat.

Lorsqu'un nombre suffisant de jaugeages ont été effectués, on dispose d'une série de couples hauteurs-débits (H et Q). Nous ne traiterons ici que le cas où la loi $H(Q)$ est univoque. Il faut alors établir cette relation $H(Q)$; là encore on peut opérer à la main en portant les points sur un graphique et en traçant, suivant certaines règles, une courbe $Q(H)$ moyenne ; on peut aussi, en se donnant une forme analytique ou une série de formes analytiques successives, et un critère d'optimisation, rendre l'opération totalement automatique.

Pour les besoins des calculs automatiques ultérieurs, et c'est là que pour la première fois on s'écarte de la méthodologie manuelle, il est pratiquement indispensable de mettre la courbe d'étalonnage sous forme analytique ; en effet, il est beaucoup plus commode et plus rapide pour la machine de calculer, pour chaque hauteur introduite, le débit correspondant à partir d'une formule, plutôt que d'aller le chercher dans un barème d'étalonnage préenregistré.

Enfin vient l'introduction de la chronique des hauteurs sous une forme convenable, sa traduction en débits et les calculs à effectuer sur ces débits ; ceci sera examiné en détail par la suite.

Pour reprendre notre idée de tout à l'heure, faut-il introduire le calcul automatique au stade du dépouillement des jaugeages, à celui du tracé de la courbe d'étalonnage, à celui de la mise en équation de cette courbe ou à celui des traductions de hauteurs en débits ? Techniquement toutes ces solutions sont possibles.

Il est certain qu'avec des techniciens hydrométristes très peu évolués et non perfectibles, travaillant mécaniquement suivant un protocole rigide, le procédé de dépouillement automatique des mesures de débits ne présente d'autre inconvénient que de rendre indécélable une erreur fortuite de mesure en un point du profil, inconvénient généralement sans importance parce que conduisant à une erreur souvent négligeable sur le résultat final. Par contre, le procédé supprime tout contact entre l'opérateur et le champ d'écoulement dont la manipulation constante lors des dépouillements graphiques constitue la meilleure formation possible et contribue puissamment à donner aux hydrologues ce "sens de l'eau" indispensable pour une exécution intelligente des mesures, même si l'évolution qui en résulte est inconsciente. Pour notre part, nous ne sommes pas prêts à renoncer à la haute valeur pédagogique du dépouillement manuel.

Pour l'établissement de la courbe d'étalonnage, il est possible également de proposer des ajustements automatiques basés sur un découpage de la courbe en paraboles ou en cubiques appuyées sur des points pivots, en introduisant un critère d'optimisation qui peut consister par exemple à minimiser la somme des valeurs absolues des écarts relatifs ou absolus ; un critère qui nous avait paru bon, car il correspond à peu près aux sensibilités moyennes qu'on peut espérer sur les débits de basses eaux et de hautes eaux, était de minimiser :

$$\sum \left| \frac{Q_{ci} - Q_{oi}}{Q_{oi}} \right| \quad , \quad Q_{oi} \text{ désignant le débit mesuré}$$

pour une hauteur H_i et Q_{ci} désignant le débit calculé d'après la courbe pour la même hauteur. Les inconvénients majeurs de l'ajustement automatique de la courbe d'étalonnage sont de deux ordres :

- Malgré l'apparente rigueur du procédé de calcul, on utilise finalement assez mal l'information car, les points étant fixés, les valeurs des paramètres sont entièrement déterminées. Même si on procède à une optimisation en

faisant varier les points pivots, par exemple par une méthode de plus grande pente, les paramètres de chaque tronçon de courbe ne sont absolument pas estimés à partir des points de mesures, mais à partir de conditions aux limites fixées arbitrairement par l'opérateur, par exemple continuité de la courbure aux points pivots dans le cas des cubiques ou conservation de la pente aux mêmes points dans le cas des paraboles. Il en résulte que les véritables paramètres de l'ajustement sont uniquement les coordonnées des points pivots, les coefficients des tronçons de courbe ne servant qu'à donner une forme arbitraire entre deux points pivots.

- Un reproche plus grave peut être adressé à la construction automatique de la courbe : il faut inclure au départ, dans le programme, les conditions aux limites permettant l'extrapolation vers les basses eaux et vers les hautes eaux. Or, décider a priori des conditions d'extrapolation est toujours d'un arbitraire qui peut être dangereux ; pour les basses eaux, c'est à peu près exclu. Pour les hautes eaux, on dispose de méthodes spécifiques suivant le type de la rivière et certaines de ces méthodes, Stevens par exemple, mettent en jeu des données topographiques qui ne peuvent être incorporées à la série des jaugeages.

A moins que l'on puisse représenter toute la courbe d'étalonnage par une expression analytique unique et que l'on soit sûr que la formule obtenue conserve sa valeur aussi bien pour les basses eaux que pour les hautes eaux, ou que l'on complique considérablement le programme, il semble donc préférable, au moins pour l'instant, de construire la courbe d'étalonnage par les procédés habituels. Il reste ensuite à mettre cette courbe en équation, et là, incontestablement, on gagne à faire cette opération sur ordinateur, le calcul des coefficients étant tout de même une chose assez laborieuse, surtout si on a décomposé la courbe en un grand nombre de tronçons.

C'est à ce stade que pour nous, du moins pour l'instant, s'introduira l'usage du calcul automatique. Tout le reste du traitement systématique des données sera confié au calcul automatique, comme il est exposé plus loin.

II - RASSEMBLEMENT DE LA DOCUMENTATION DE BASE

Mis à part la prise en compte des mesures directes de débit qui se fait par l'intermédiaire de la courbe d'étalonnage et qui ne pose guère de problèmes, le traitement des données hydrométriques est basé essentiellement sur celui des hauteurs limnimétriques. On sait qu'à la plupart des stations exploitées par l'CRSTOM, les relevés sont faits par des observateurs qui lisent la hauteur de l'eau à une échelle, une ou plusieurs fois par jour.

Dans ce qui suit, il est bien entendu qu'on appelle ORIGINAL un document écrit de la main même de l'observateur à l'exclusion de toute copie manuscrite ou dactylographique.

Le travail de perforation est long et représente un des principaux postes de dépense dans l'ensemble des opérations de traitement. Il convient donc qu'il soit aussi parfait que possible et s'appuie entre autres sur les documents les plus valables possible, ou tout au moins les moins douteux. C'est la raison pour laquelle nous insistons tout particulièrement pour disposer des originaux des lecteurs ou de photocopies de ces originaux ; aucun de ces documents de base ne doit avoir été trafiqué ; par contre, ils peuvent et doivent porter en surcharge, de façon qu'on sache nettement qu'il s'agit d'une surcharge, toutes les précisions et remarques que l'hydrologue exploitant aura jugé bon de mettre. En particulier, en aucun cas les corrections de zéro d'échelle ne doivent être effectuées sur les documents remis.

Au Bureau central, la perforation sera précédée d'un travail de préparation des documents originaux : critiques basées sur les remarques en surcharges, sur les indications portées dans les dossiers "généralités" des stations ou sur les fiches de stations et sur tous autres critères que le personnel spécialisé est maintenant habitué à manier. Toutefois, cette préparation ne comportera aucune modification des hauteurs correspondant à un changement du zéro de l'échelle ; seulement dans le cas où il a été constaté des décalages entre les différents éléments d'une même échelle, une correction sera apportée.

Quel est, dans ce travail de rassemblement des données, le rôle des sections locales ? D'abord faire le point de tous les originaux disponibles ; des listes de documents manquant au Bureau central ont déjà été presque partout envoyées. Puis ces originaux devront faire l'objet d'une

première critique locale, surtout détection d'erreurs et appréciations de qualité, qui se traduira par des notes en surcharge sur les photocopies d'originaux.

Dans un deuxième stade, les sections devront faire le point sur les changements d'échelle, leurs dates exactes, les modifications d'emplacement et décalages éventuels.

Enfin, elles seront chargées d'établir les courbes d'étalonnage pour les différentes périodes. Rappelons qu'une modification de l'étalonnage peut être due soit à une variation des conditions d'écoulement dans la rivière, soit à un changement ou une modification de l'échelle. S'il s'agit d'une variation morphologique entraînant une modification des conditions d'écoulement, ce qui est fréquent en basses eaux, on doit obligatoirement tracer une nouvelle courbe d'étalonnage. S'il s'agit d'un décalage de zéro, on peut soit corriger les hauteurs d'une quantité fixe et laisser le barème ou la formule d'étalonnage inchangée, soit conserver les hauteurs réellement observées et modifier la formule. De même, s'il s'agit d'un déplacement de l'échelle on peut soit corriger les hauteurs suivant une courbe de correspondance établie entre les deux échelles, soit changer l'étalonnage. En calcul automatique, et même à vrai dire pour les traductions manuelles, il est bien plus simple de conserver les hauteurs lues et d'adopter autant de courbes d'étalonnages différentes qu'il est nécessaire.

La mise en formule sur ordinateur des courbes d'étalonnage sera à la charge du Bureau central.

III - MISE EN CARTES PERFOREES DES HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

Une carte perforée standard comporte 80 colonnes, chacune d'elles pouvant recevoir un chiffre, une lettre ou un signe suivant un code de perforation préétabli. Chaque carte doit contenir obligatoirement :

- un numéro d'identification pour la station,
- un repère de temps suffisamment précis pour que chaque donnée contenue dans la carte puisse être replacée dans le temps sans ambiguïté,
- autant de hauteurs limnimétriques qu'il est possible,
- un indicatif de variation d'étalonnage.

Pour l'identification, on a adopté un numéro de 8 chiffres afin de pouvoir introduire un classement logique : 2 pour l'Etat, 2 pour le bassin, 2 pour la rivière, 2 pour la station. La classification n'a pas encore été établie.

La position de chaque relevé dans le temps est complètement définie par la combinaison de 4 éléments : l'année, le mois, le groupe et le cas. Ce système, qui répond au besoin de mettre le maximum de données sur une même carte pour différentes cadences d'observations, sera expliqué en détail par la suite. L'année, le mois et le groupe réclament chacun deux chiffres, donc deux colonnes ; le CAS se contente d'une colonne.

Une colonne, en fin de carte, est réservée à la modification d'étalonnage : le fait de perforer un chiffre, n'importe lequel sauf zéro, dans cette colonne indique qu'il y a un changement d'étalonnage quelque part dans le contenu de la carte. Cette perforation entraînera au cours de la réalisation du programme la lecture d'une autre carte précisant quelle hauteur commence à être intéressée par la modification, demandera la traduction des hauteurs non touchées par la modification, puis appellera un sous-programme pour la lecture et le rangement des coefficients de la nouvelle courbe d'étalonnage qui servira pour traduire les hauteurs restantes.

Une fois réservées les 16 colonnes nécessaires aux indications précédentes, il reste $80 - 16 = 64$ colonnes utilisables pour les hauteurs d'eau. La précision maximale habituelle à laquelle on peut s'attendre pour une lecture d'échelle est de l'ordre du centimètre ; par ailleurs cette précision est toujours nettement suffisante en rivière et, sauf de très rares exceptions, une erreur de 1 cm entraîne pour le débit une erreur parfaitement négligeable. D'autre part, les plus grands marnages auxquels on peut s'attendre en rivière ne dépassent pas une vingtaine de mètres. On a choisi de représenter les hauteurs en cm et de consacrer 4 colonnes à chacune, ce qui permet de représenter toutes les hauteurs comprises entre - 9,99 m et 99,99 m. En réalité, les hauteurs les plus fortes qu'on peut envisager ne dépasseront guère la notation 2000, ce qui permet de réserver conventionnellement la notation 9999 à l'absence de relevé. En effet, si on se contentait, pour une hauteur non observée, de ne rien perforer à l'emplacement correspondant, la machine considérerait qu'il s'agit d'une hauteur nulle ; comme la hauteur zéro peut se rencontrer dans les relevés, il n'est pas possible de lui faire représenter conventionnellement l'absence d'observations.

Le dessin de la carte, fortement agrandi, est représenté sur la figure 1. On voit que l'on peut, sur une telle carte, enregistrer 16 hau-

DESSIN DE LA CARTE C Ø H 301

Espace nécessaire pour l'interprétation de la carte.

RELEVÉS DE HAUTEURS LIMNIMÉTRIQUES	ETAT	BASSIN	RIVIÈRE	STATION	ANNÉE	MOIS	GROUPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	CAS
	N° de STATION		DATE		HAUTEURS LIMNIMÉTRIQUES en cm (Lues en m)																MODIF. ETAL.			
								1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80

MODÈLE C Ø H 301

Fig : 1

teurs limnimétriques. On a donné à cette carte le matricule CCH 301.

Jusqu'à présent, on sait seulement qu'on peut mettre sur une carte 16 relevés de hauteurs sans préjuger de leur disposition dans le temps. Ce dispositif a été adopté pour, d'une part, avoir un modèle de carte unique, d'autre part, mettre le maximum de données sur la même carte pour réduire l'encombrement des archives et accroître la vitesse de lecture.

Bien entendu, une seule carte ne saurait contenir des relevés provenant d'années différentes. On posera de plus que deux mois consécutifs ne peuvent chevaucher. D'autre part, les observations manuelles peuvent se faire à raison de, ou bien un dépouillement de limnigramme peut porter sur 1, 2, 3 etc... relevés par jour. Il est bien entendu que le fichage proposé ne concerne que les stations de réseau, pour lesquelles le but principal du dépouillement est de fournir des débits moyens journaliers et des pointes de crues. Les relevés sont faits généralement à intervalles de temps assez réguliers et, s'il n'en est pas ainsi, dans la plupart des cas une interpolation "au juger", faite au moment de la préparation des documents avant la perforation, est largement suffisante.

La quasi-totalité des besoins sont couverts par une lecture toutes les deux heures, c'est-à-dire 12 lectures par jour. Comme on dispose de 16 hauteurs par jour sur la carte, ces besoins sont donc amplement satisfaits sans qu'il soit nécessaire de répartir sur deux cartes les relevés d'une seule journée.

Un datage complet des hauteurs obligerait, pour chaque hauteur, à perforer également l'heure de l'observation. Cette technique pourra être adoptée et sera même indispensable pour le traitement des hydrogrammes de crues en tant que tels, surtout lorsqu'il s'agit de petits bassins. Pour un traitement systématique de réseau tel qu'on l'envisage ici, il n'est pas possible de procéder ainsi et ce serait du reste totalement inutile. Les relevés étant à peu près régulièrement espacés dans le temps au cours de la journée, ou ayant été rendus tels, la moyenne des débits correspondant aux hauteurs perforées est très voisine du débit moyen journalier ; de toute manière, le chiffre obtenu constitue la meilleure estimation possible de cette moyenne, compte tenu de l'information disponible.

Il suffit donc de repérer à quel jour appartient chaque hauteur perforée. Pour cela, on a adopté pour critère de base le nombre de relevés effectués en une journée, ce nombre pouvant varier de 1 à 16 et étant désigné par le nom de variable "CAS". Le CAS 1 correspond à 1 relevé par jour, le CAS 2 à 2 relevés par jour, etc..., le CAS 9 correspond à 9 à 16 relevés par jour.

Il est clair qu'avec le cas 1, une carte peut contenir au plus les relevés de 16 jours ; avec le cas 2, on dispose d'un maximum de 8 jours par carte, etc..., du cas 6 au cas 8, les relevés de deux jours seulement peuvent être portés sur une même carte et pour le cas 9, on doit perforer une carte par jour. On voit donc toute l'importance d'une disposition sélective, puisque l'encombrement de l'information de base peut varier de 1 à 16.

La figure 2 résume les dispositions obtenues sur une carte pour les différentes valeurs de CAS. On désigne par "GROUPE" l'ensemble de l'information contenue dans une carte ; à chaque groupe est associé un numéro désigné par la variable "GROUP" représentant la place du groupe dans le mois. Le découpage du mois en groupes est donné sur la figure 2 pour les différents CAS. Supposons par exemple que nous ayons affaire au CAS 3 (3 relevés par jour). On peut mettre au maximum 5 jours par carte, le dernier emplacement de l'espace réservé à la perforation des hauteurs, c'est-à-dire les 4 dernières colonnes de cet espace, étant inemployé. La première carte, pour laquelle on aura perforé GROUP = 1, contiendra les données des 5 premiers jours du mois, la seconde carte (GROUP = 2) groupera les relevés du 6 au 10 du mois, etc..., GROUP = 6 se rapportera à la pentade du 26 au 30. Bien entendu, si on avait affaire au CAS 5 par exemple, le découpage serait différent et GROUP = 6 correspondrait à la période du 16 au 18.

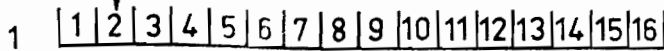
On voit donc que la combinaison des variables CAS et GROUP définit complètement et sans ambiguïté la position dans le temps d'une série de relevés relatifs à une même journée.

Pour chaque carte, les valeurs de CAS et de GROUP sont perforées aux endroits indiqués sur la figure 1. Le système est extrêmement souple et permet de changer la valeur de "CAS" au cours du mois, à condition qu'on puisse regrouper convenablement les jours. Nous allons montrer comment procéder à partir d'exemples tirés des relevés de la BENOUE à GAROUA.

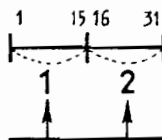
Sur cette rivière, en Septembre 1964, les relevés les plus complets étaient effectués toutes les heures, de 6 h à 18 h, puis toutes les deux heures, de 18 h à 6 h le lendemain. Cette cadence de lectures était imposée dans un but de prévisions pour un service d'annonce des crues ; l'hydrologue n'est nullement intéressé par la totalité des relevés et c'est déjà un grand luxe de considérer uniformément les relevés aux heures paires. Toutefois, pendant le mois considéré, les relevés n'ont pas toujours été assurés la nuit, de sorte que, si l'on s'en tient aux relevés des heures paires et en homogénéisant au besoin certaines extrémités de jours pour avoir des relevés symétriques sans perte d'information, on obtient :

N° du jour sur la carte.

Découpage du mois en groupes.



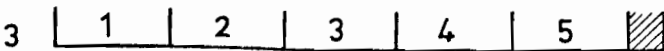
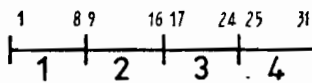
- 1 Relevé par jour.
- 16 Jours par carte (maxi).
- 2 Cartes par mois.



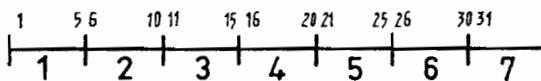
N° de GROUPE



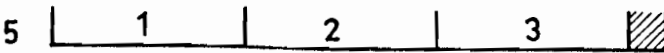
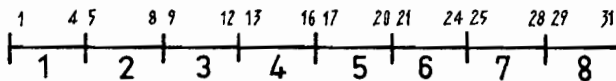
- 2 Relevés par jour.
- 8 Jours par carte.
- 4 Cartes par mois.



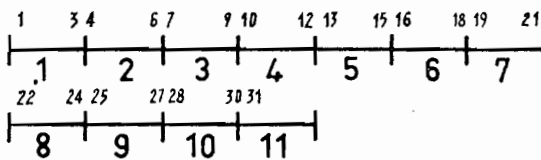
- 3 Relevés par jour - 5 jours par carte.
- mois de 30 jours ou moins : 6 cartes par mois.
- mois de 31 jours : 7 cartes par mois.



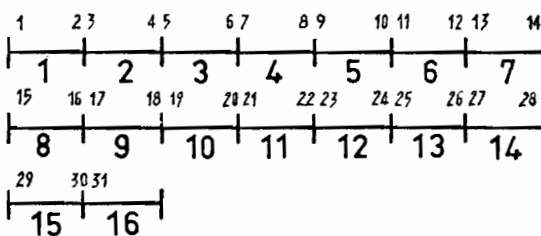
- 4 Relevés par jour - 4 jours par carte.
- Février non bissextile : 7 cartes par mois.
- autres mois : 8 cartes par mois.



- 5 Relevés par jour - 3 jours par carte.
- mois de 31 jours : 11 cartes par mois.
- autres mois : 10 cartes par mois.

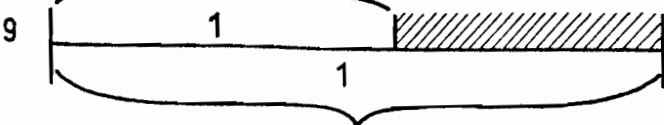


- 6 à 8 Relevés par jour - 2 jours par carte.



mois de 30 j : 15 cartes
 mois de 31 j : 16 cartes
 Février biss : 15 cartes
 Février non biss : 14 cartes } par mois

9 relevés par jour



1 carte par jour.

16 relevés par jour

Fig:2

- 12 relevés par jour le 1^{er} Septembre.
- 7 relevés " du 2 au 9.
- 12 relevés " du 10 au 15.
- 7 relevés " du 16 au 19.
- 12 relevés " du 20 au 23.
- 7 relevés " du 24 au 30.

Le 1^{er} Septembre relève du CAS 9 et forme un groupe à lui tout seul puisqu'on ne peut perforer sur une seule carte que les données d'une seule journée. Comme c'est le premier groupe du mois pour le CAS 9, on devra donc perforer sur la carte correspondante :

- dans la colonne "GROUPE" le chiffre 1,
- dans la colonne "CAS" le chiffre 9.

Ensuite, du 2 au 9, on a seulement 7 relevés par jour, ce qui relève par conséquent du CAS 7. Considérons d'abord le 2 Septembre. Si on le considère comme relevant du CAS 7, il ne peut être que le second jour du groupe 1 dans le cas 7, ainsi que le montre le découpage en groupes indiqué sur la figure 2. On sera donc obligé de considérer également le 2 comme relevant du CAS 9, bien que le format du cas 7 soit capable de contenir les relevés de ce jour.

On pourra ensuite traiter dans le cas 7 les couples de jours (3, 4), (5, 6) et (7, 8), qui porteront respectivement les numéros de groupes 2, 3 et 4. En effet, chaque fois qu'un groupe est traité dans un CAS donné, le numéro qui lui est affecté doit être calculé comme si tout le mois était traité dans ce cas. A nouveau, le 9, bien qu'il comporte moins de 9 relevés, doit être traité en CAS 9 par suite de l'impératif du découpage des groupes. Les relevés du 10 au 15 seront bien entendu traités en CAS 9. Le 16 devra toujours pour la même raison, être également traité en CAS 9, etc... Finalement le plan de perforation des relevés de Septembre 1964 sera le suivant :

<u>du</u>	<u>au</u>	<u>CAS</u>	<u>N° des Groupes</u>
1	2	9	1 et 2
3	8	7	2 à 4
9	16	9	9 à 16

<u>du</u>	<u>au</u>	<u>CAS</u>	<u>N° des Groupes</u>
15	18	7	8 et 9
19	24	9	19 à 24
25	30	7	13 à 15

En principe, avec ce système de repérage, à l'intérieur d'une année les cartes peuvent être classées dans n'importe quel ordre lors de l'exploitation. Toutefois, il est nécessaire de séparer les périodes se rapportant à des étalonnages différents, de sorte que, pour éviter toute erreur, il est tout de même préférable de mettre les cartes de hauteurs en séquence chronologique.

On a vu que, dans certains cas, on est appelé à traiter par exemple un cas 9 en cas 7, ou un cas 7 en cas 3 etc..., pour des raisons de découpage du mois en groupes. Pour les valeurs les plus faibles de la variable CAS, les données existantes ne remplissent donc pas toute la place disponible pour le stockage des données d'une journée. Exemple :

En Juin 1963, sur la BENCUE à GAROUA, on dispose des données suivantes (hauteurs en cm) :

le 1 ^{er}	-	72, 72, 71
2	-	70, 70, 70
3	-	72, 72, 71
4	-	70, 70, 70
5	-	68, 68, 67
6	-	66, 66, 66
7	-	64, 69, 69, 68, 68, 67, 67.

Les données des 5 premiers jours peuvent être groupées sur une même carte en utilisant le cas 3. On aura alors, sur cette carte, les perforations suivantes dans le champ disponible pour les hauteurs :

007200720071|007000700070|007200720071|007000700070|006800680067|9999|

Le dernier emplacement de hauteurs pourrait n'être pas perforé car, si le chiffre correspondant sera bien lu par la machine et traduit en débits, il n'en sera pas tenu compte lors du traitement des débits.

Le septième jour procède du CAS 7 ; donc le 6, qui n'a pu être incorporé au groupe précédent (1er groupe, CAS 3), devra être lui aussi traité en CAS 7 ; mais il faut obligatoirement que les relevés du 6 remplissent tout le champ prévu pour le premier jour d'un groupe procédant du

CAS 7. Comme on ne dispose que de 3 relevés au lieu des 7 prévus pour la largeur du champ, on remplira par des 9 les emplacements restants. Autrement dit, la carte groupant les données du 6 et du 7 Juin se présentera finalement, pour la partie réservée aux hauteurs, de la manière suivante :

00660066006699999999999999999999|0064006900690068006800670067|99999999|

Les 8 derniers 9 sont facultatifs, mais les autres sont absolument indispensables. En effet, s'ils n'étaient pas perforés, la machine comprendrait l'information de la façon suivante :

Trois fois la hauteur 0066 à laquelle correspond trois fois un certain débit q_1 , puis quatre fois la hauteur 0000 à laquelle correspond quatre fois le débit q_2 . Le programme de calcul du débit moyen journalier donnerait alors pour ce débit la valeur $(3 q_1 + 4 q_2)/7$, alors que le débit moyen réel est égal à $q_1 (3 q_1/3)$, ce qui sera correctement calculé si, avec la convention dont il a été parlé plus haut, les 9 ont été perforés. On se souvient en effet que 9999 représente conventionnellement un relevé manquant.

En pratique, le découpage en groupes et le choix de la valeur de CAS sont préparés sur les originaux avant la perforation. Ce travail est fait par la personne chargée de la critique finale des données et des interpolations ou "homogénéisations" éventuelles. On portera une attention particulière au cas 9 pour lequel, quel que soit le nombre d'observations dans la journée, on doit obligatoirement remplir tout le champ disponible pour les données de hauteurs (16 emplacements ou 64 colonnes), en remplaçant par 9999 les relevés manquants.

D'autres variables utilisées dans le programme de traitement ont leur valeur fixée par GROUP, CAS, le mois et éventuellement le fait que l'année soit bissextile ou pas.

- JMAX - nombre de relevés à prendre en compte pour une carte relevant du CAS 1.
- JMA - numéro d'ordre du premier relevé du dernier jour sur une carte donnée. JMA ne dépend que de CAS. Exemple : CAS 4 ; on sait qu'une carte peut contenir 4 jours. Les 3 premiers jours absorbent $4 \times 3 = 12$ positions ; le premier relevé du 4ème jour occupera donc la position $12 + 1 = 13$.

KMX - nombre de "jours" à prendre en compte sur une carte. C'est KMX qui définit dans le détail la forme de la matrice des débits moyens journaliers.

Les valeurs de JMA et de KMX sont données sur le tableau de la figure 3.

IV - MISE EN EQUATION DE LA COURBE D'ETALONNAGE

Nous avons exposé au paragraphe II les raisons pour lesquelles nous ne souhaitons pas, du moins pour l'instant, rendre automatique la construction de la courbe d'étalonnage. Par contre, cette courbe une fois établie suivant une méthodologie qui fera à elle seule l'objet d'une note technique, il est très agréable d'effectuer la mise en équation au moyen d'un ordinateur.

La méthode que nous avons adoptée consiste à décomposer la courbe d'étalonnage en un nombre suffisant de paraboles du second degré pour que l'ensemble de ces paraboles reproduise la courbe sans erreur appréciable. Sauf en cas d'anomalies marquées au droit desquelles il subsiste du reste toujours quelque incertitude sur le tracé à adopter, il est toujours très facile d'obtenir la précision désirée.

C'est une méthode simple, sans prétention. Beaucoup d'hydrométristes préfèrent une représentation par les cubiques, considérant comme une grande vertu que la courbure de la cubique varie de façon linéaire, ce qui permet aux tenants de cette méthode d'imposer aux extrémités de chaque tronçon du découpage des conditions d'égalité des courbures. Si nous pensions que les cubiques puissent, si peu que ce soit, conduire à une meilleure approximation de la courbe d'étalonnage, nous les adopterions de suite, malgré la complexité un peu plus grande et surtout le temps de calcul un peu plus long du débit en cours d'exploitation. En fait, l'approximation obtenue dépend beaucoup plus de la manière de calculer les coefficients que de la complication des expressions analytiques.

Avec des paraboles du second degré, on serait tenté, s'étant fixé un certain nombre de points sur la courbe établie, de calculer les paraboles en leur imposant de passer par ces points avec variation continue de la tangente. Le procédé présente le même inconvénient que celui qui consiste, pour les cubiques, à imposer la continuité de la courbure : ne pas tenir compte de la courbe réelle entre les deux points fixes. De plus, il

VALEURS DE KMX						
JMA	Mois	31 J	30 J	Fév. biss.	Fév. non biss.	GROUPE
	CAS					
15	2	8	8	8	8	1 à 3
		7	6	5	4	4
13	3	5	5	5	5	1 à 5
		5	5	4	3	6
		1				7
13	4	4	4	4	4	1 à 7
		3	2	1		8
11	5	3	3	3	3	1 à 9
		3	3	2	1	10
		1				11
7	6					
8	7	2	2	2	2	1 à 14
		2	2	1		15
		1				16
9	8					

Fig : 3

conduit souvent à une instabilité dans le calcul des paramètres : divagation qui va s'amplifiant autour de la courbe réelle. Toutes ces solutions ont été explorées très à fond, nous avons fait de nombreux essais et nous ne pensons pas qu'il soit utile d'y revenir.

Le procédé que nous avons adopté consiste, deux points fixes étant pris sur la courbe, à prendre un point intermédiaire et de faire passer un tronçon de parabole par ces trois points. Comme on voit, ça n'a rien de génial, mais ça permet de "faire coller" la parabole calculée à la courbe réelle mieux qu'aucun autre procédé.

On suppose que le domaine de validité de la courbe a été défini, compte tenu de l'extrapolation aussi bien pour les basses eaux que pour les hautes eaux. On se fixe alors deux points "hors-tout", c'est-à-dire au-delà des limites possibles de variation de la hauteur à l'échelle. Le plus bas de ces deux points est numéroté 1, le plus haut LMAX. On découpe alors la courbe d'étalonnage en $KMAX = LMAX - 1$ tronçons, en prenant soin d'adapter la longueur des tronçons aux difficultés de la courbe. Le programme de calcul que nous avons établi permet d'aller jusqu'à 15 tronçons, c'est-à-dire de calculer 15 paraboles différentes, ce qui permet d'approcher n'importe quelle courbe d'étalonnage avec toute la précision désirable. Dans la pratique, on ira très rarement au-delà de 10 paraboles.

Considérons (figure 4) un des points pris sur la courbe d'étalonnage, par exemple celui qui est numéroté L, ainsi que le point immédiatement supérieur (L + 1). Ces points sont déterminés par leurs coordonnées respectives :

Hauteur à l'échelle	Débit
(m)	(m ³ /s)
HP(L)	Q(L)
HP(L + 1)	Q(L + 1)

Prenons, toujours sur la courbe, un point intermédiaire dont nous désignerons les coordonnées par HINT(L) et QINT(L), de manière à ramener les références au point fixe inférieur. Posons les valeurs intermédiaires :

$$\begin{aligned}DQ &= Q(L + 1) - Q(L) \\D &= HP(L + 1) - HP(L) \\DQIN &= QINT(L) - Q(L) \\DINT &= HINT(L) - HP(L)\end{aligned}$$

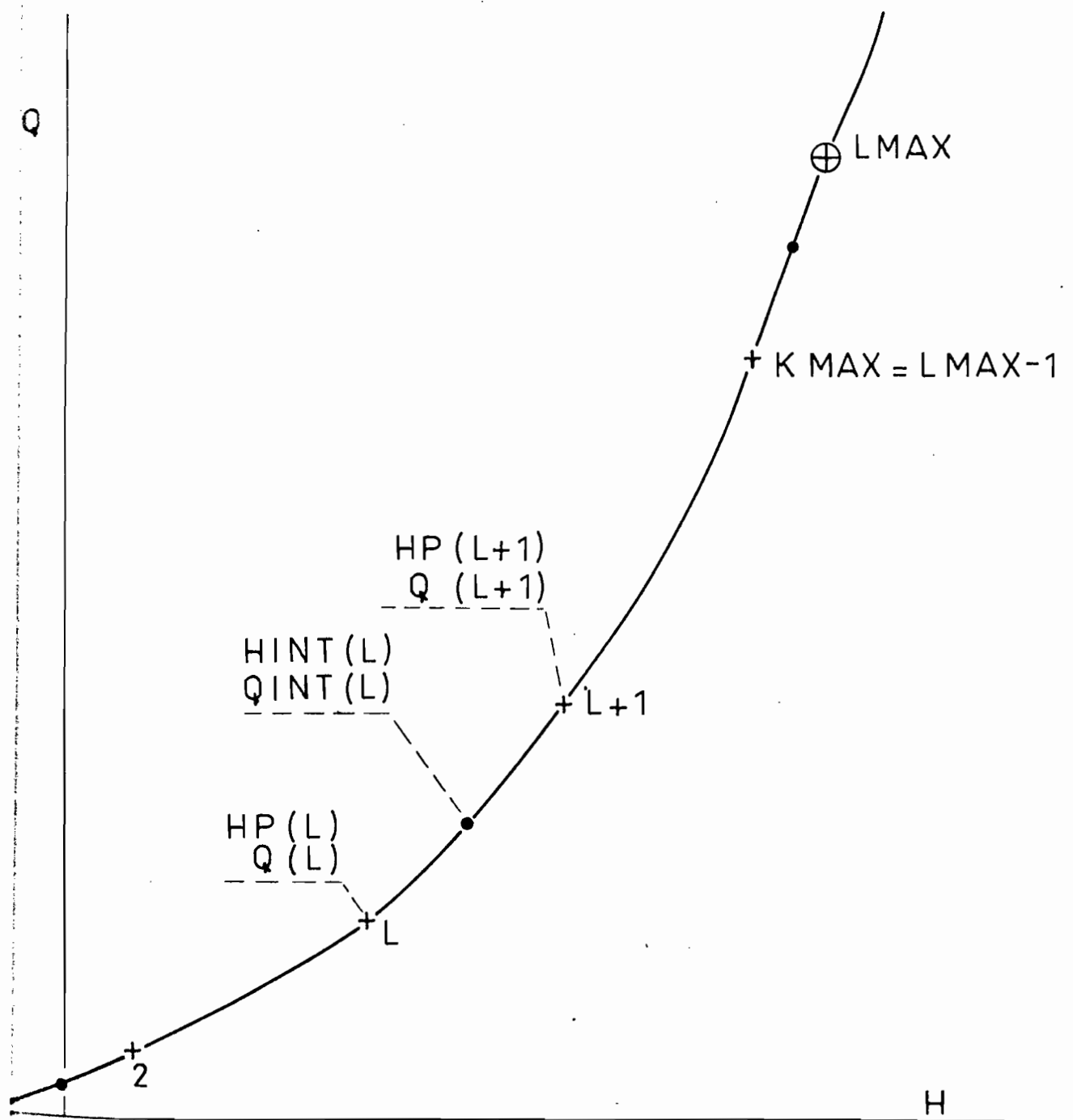


Fig:4

Si on appelle HT et DEB les coordonnées hauteur et débit d'un point de la parabole passant par les trois points cités, et si on pose $X = HT - HP(L)$, on peut écrire :

$$DEB = C(1,L)X^2 + C(2,L)X + C(3,L)$$

avec :

$$C(1,L) = (DINT.DQ - DQIN.D) / [D.DINT.(D - DINT)]$$

$$C(2,L) = DQ/D - C(1,L).D$$

$$C(3,L) = Q(L)$$

C'est très exactement ce processus qui est suivi dans notre programme pour la détermination des paramètres des KMAX tronçons de parabole. En outre, le programme calcule une série de débits pour les cotes variant de 10 en 10 cm, de HP(2) à HP(K MAX), à titre de vérification. Les coefficients sont sortis avec 7 chiffres significatifs, ce qui est largement suffisant pour la précision de trois chiffres significatifs demandée pour le calcul des débits, toutes opérations de traduction effectuées.

V - EXPLOITATION SYSTEMATIQUE DE LA CARTE COH 301

Cette exploitation est réalisée au moyen du programme POH 301 qui permet d'effectuer les opérations suivantes :

- Traduction des hauteurs en débits.
- Calcul des débits moyens journaliers (QJ), mise en matrice de ces débits et perforation des résultats.
- Mise en vecteur Q de la matrice QJ et interpolation linéaire des débits manquants.
- Tri du maximum annuel (pris sur les débits traduits avant calcul des moyennes journalières).
- Perforation du vecteur Q.
- Calcul des débits moyens mensuels.
- Perforation des débits moyens mensuels et du maximum annuel.

Le résultat de cette exploitation se concrétise donc par l'obtention, pour chaque année :

- D'un jeu de cartes perforées (24 par an) donnant les débits moyens journaliers calculés à partir de hauteurs réellement observées. La variable correspondante a été appelée QJ(JO,MOIS), la double indexation portant sur le numéro du mois (indice : MOIS) et sur le numéro du jour pour chaque mois (indice : JO). Dans la matrice ainsi définie, aux jours pour lesquels on n'a pas d'observation est affecté conventionnellement un débit - 10.0. Cette matrice est surtout destinée à l'impression sous forme de tableau des débits réellement observés.

- D'un jeu de cartes perforées (22 cartes par an) contenant le vecteur des débits moyens journaliers observés et interpolés. La variable est appelée Q(M), l'indice désignant le numéro de séquence des 365 ou 366 débits moyens journaliers contenus dans une année et classés par ordre chronologique. Ce jeu constitue l'élément de travail de base chaque fois que l'on doit, pour traiter un problème, revenir à l'échelle de la journée.

- D'une carte contenant les 12 débits moyens mensuels et le débit maximal annuel.

Afin de réduire le plus possible d'encombrement des résultats, on a été amené à utiliser pour la perforation des débits un code spécial. D'abord, il a été admis qu'aucune valeur de débit ne peut décemment être exprimée avec plus de trois chiffres significatifs. Dans l'écriture FORTRAN, on dispose de deux codes pour la perforation de nombres pouvant éventuellement comporter des décimales :

- le code F qui n'est autre que l'expression arithmétique habituelle d'un nombre décimal,
- le code E qui fait appel à la notation exponentielle.

Sans entrer dans le détail de ces codes, sachons seulement qu'à l'impression ou à la perforation, un programme général permettant d'écrire tous les débits possibles compris entre 1 l/s et 99 900 m³/s, avec un maximum de trois chiffres significatifs, demanderait de réserver sur la carte pour chaque débit :

- 9 colonnes en code F,
- 10 colonnes en code E,

ce qui, pour les débits QJ par exemple, ne permettrait de perforer que 7 valeurs par carte.

Or, si l'on considère un débit de trois chiffres significatifs, on peut conventionnellement l'indiquer en perforant seulement 4 colonnes, 3 pour les chiffres significatifs, 1 pour l'exposant de 10, à condition que, le débit étant exprimé en m^3/s , on ne désire pas obtenir une précision supérieure à 1 l/s, ce qui, pour les rivières traitées par ce programme, est plus que suffisant. La forme générale de l'expression d'un débit, X désignant un chiffre significatif, qui peut s'écrire : $0,XXX.10^A$ en écriture arithmétique ordinaire, s'écrira avec notre code : XXXA.

Par exemple, un débit de $99,7 m^3/s$ se traduit par : 9972, tandis que l'écriture codée 1474 correspond à un débit de $1\ 470 m^3/s$. La partie XXX (147 dans l'exemple précédent) s'appelle la mantisse et la partie A (4 dans l'exemple précédent) s'appelle la caractéristique. Quelques instructions incorporées dans le programme assure la transformation. Bien entendu, les programmes d'utilisation doivent contenir des instructions assurant la transformation inverse. Tout cela se pratique de façon très aisée et le temps de calcul supplémentaire exigé par les transformations est absolument négligeable.

Dans les notes techniques concernant le calcul automatique, nous ne donnerons pas systématiquement le contenu in extenso des programmes. Les chercheurs intéressés pourront en demander copie au Bureau Central. Cependant, on décrira la structure des programmes les plus importants et, à l'occasion, quelques logiques particulièrement intéressantes ou instructives seront détaillées davantage.

Le programme POH 301 a été écrit avec le souci de pouvoir le passer sur un ordinateur de taille réduite ; c'est la raison pour laquelle les cartes de hauteurs sont traitées complètement, une à une, afin de ne pas encombrer inutilement la mémoire centrale. Depuis, l'ORSTOM s'est orienté vers l'utilisation de gros ordinateurs à pupitres multiples, mais finalement le même programme peut être conservé sans aucun inconvénient. Donc, les opérations se passent de la manière suivante :

On lit d'abord une carte d'identification de la station ; en particulier le numéro de cette station décomposé en trois parties représentées par les variables ETAT (2 chiffres), BASSI (2 chiffres) et ISTAT (4 chiffres). Une instruction contrôle que ETAT n'est pas nulle ; si elle l'est, c'est que le lecteur a rencontré une carte blanche. Une telle carte placée à cet endroit veut dire que le travail est fini, il arrête la machine. Sinon, on continue en lisant les cartes contenant les coefficients de la courbe d'étalonnage ; cette lecture se fait par l'intermédiaire d'un sous-programme appelé TARAG.

La carte suivante ou bien contient des hauteurs limnimétriques, ou bien est blanche (contrôle sur la valeur de ETAT qui figure sur toutes les cartes), ce qui indique que les hauteurs de toute une année ont été traduites en débits et renvoie à une autre partie du programme chargée de manipuler les débits journaliers. Si la carte n'est pas blanche, l'ordinateur met en mémoire les 16 relevés de hauteurs qu'elle contient, ainsi que les éléments permettant de dater les hauteurs (MOIS, GROUP et CAS), sans oublier la variable CHANG qui indique s'il y a changement d'étalonnage ou pas.

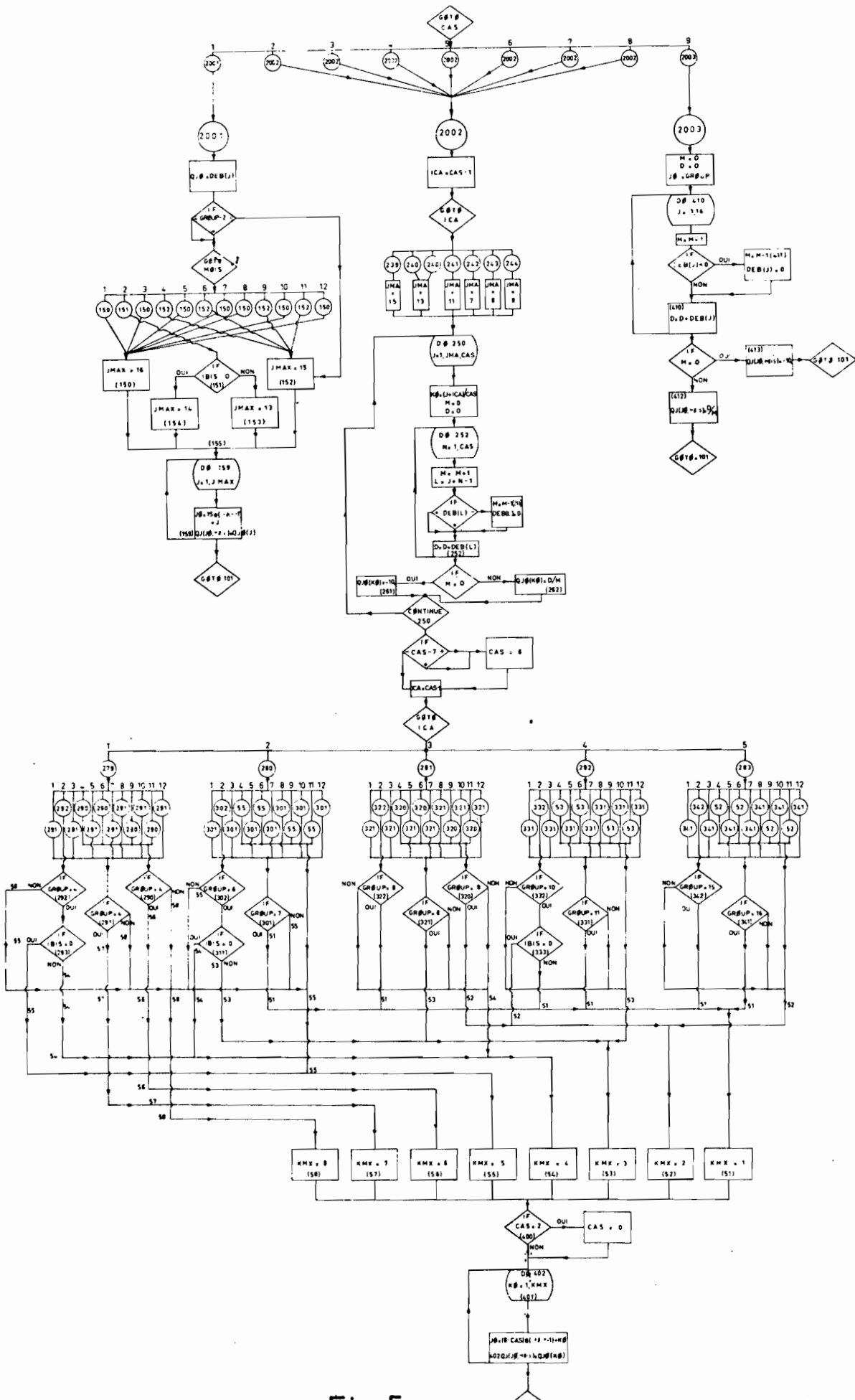
On contrôle qu'il s'agit bien d'une carte correspondant à la bonne station et à la bonne année ; s'il y a erreur, on fait défiler toutes les cartes de l'année fautive et on repart sur l'année suivante afin d'éviter des arrêts trop fréquents de l'ordinateur. On repère alors si l'année est bissextile ou pas ; dans le premier cas, on pose $JOAN = 365$, dans le second $JOAN = 366$, puis on introduit une variable $IBIS = JOAN - 366$; dans la suite des calculs, lorsqu'on aura besoin de savoir si l'année est bissextile ou non, il suffira de comparer $IBIS$ à zéro.

Commence alors le travail de traduction. Si $CHANG$ est nul (pas de variation d'étalonnage), on traduit les 16 hauteurs lues sur la carte avec la courbe d'étalonnage déjà en mémoire, en faisant appel à un sous-programme baptisé $TRAD$. Comme il a déjà été dit, chaque fois qu'une hauteur est lue 9999, $TRAD$ donne au débit la valeur conventionnelle - 10.0. Si $CHANG$ n'est pas nul, on lit la carte suivante qui indique la position exacte de la première hauteur sur laquelle porte le changement, on traduit les hauteurs précédant celle-ci avec la courbe en mémoire, puis on fait appel à $TARAG$ qui fait charger en mémoire les nouveaux coefficients perforés sur les cartes suivantes. On utilise la nouvelle courbe pour finir de traduire les hauteurs postérieures à la modification.

Les 16 hauteurs de la carte étant traduites en 16 débits, la valeur de CAS lue précédemment oriente sur le processus du traitement à faire subir à ces débits pour :

- extraire le maximum ;
- calculer les débits moyens journaliers.

C'est la partie la plus délicate du programme. Le diagramme de la figure 5 montre la logique suivie pour la programmation. On voit que l'on dissocie des autres les CAS 1 et 9 qui peuvent être traités très simplement. Les CAS 2 à 8 font l'objet d'un programme qui comporte des blocs communs.



Au bout de cette opération, on recueille un ou plusieurs débits moyens journaliers indicés suivant le jour et le mois, sous la forme QJ(JO,MCIS). Puis on vient lire la carte de hauteurs suivante. Quand les cartes de toute une année ont été lues, ce qui est indiqué à l'ordinateur par la présence d'une carte blanche, on perfore la matrice des débits moyens journaliers observés, suivant le code exponentiel spécial dont nous avons déjà parlé.

Ensuite, cette matrice est mise en vecteur en suivant l'ordre chronologique, c'est-à-dire que tous les débits journaliers sont placés les uns à la suite des autres du 1er Janvier au 31 Décembre. Cette disposition est nécessaire pour l'interpolation des débits manquants. Cette interpolation est linéaire ; les zones à interpoler sont détectées par comparaison des débits contenus dans le vecteur avec - 10.0. Si la zone d'interpolation est trop longue (lacunes importantes), on peut intervenir de deux manières suivant que cette zone se place sur la courbe de tarissement ou en plein coeur de la saison des pluies. Dans le second cas, il n'est pas possible d'assurer des estimations raisonnables et en principe, le programme PCH 301 ne convient pas. Dans le premier cas, un contrôle a priori du tarissement peut être effectué, l'interpolation faite manuellement (par exemple en diagramme logarithmique) ; quelques-uns des débits intermédiaires obtenus peuvent alors être convertis en hauteurs qui seront perforées sur les cartes originales, à la place convenable.

Le calcul des débits moyens mensuels se fait à partir du vecteur des débits interpolés. Le programme de traitement d'une année se termine par la perforation des débits moyens mensuels et du maximum annuel, et par la perforation du vecteur Q des débits interpolés, toujours avec les mêmes conventions d'écriture.