

J. HERBAUD (*)

Essai sur les problèmes de rationalisation de réseaux Mise en œuvre sur un réseau pluviométrique

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

I. — APPARITION ET ÉNONCÉ DU PROBLÈME DE LA RATIONALISATION D'UN RÉSEAU DE MESURE

Tout réseau de points de mesure du milieu physico-climatique est composé de trois ensembles dans lesquels ces points sont qualifiés de stations primaires, secondaires ou tertiaires :

- *Les stations primaires* sont théoriquement pérennes et fixes.
- *Les stations secondaires* sont théoriquement déplaçables après une certaine durée de fonctionnement en un point donné.

Les stations primaires et secondaires constituent l'ossature de base du réseau.

- *Les stations tertiaires* sont à vocation exclusivement pratique et sont spécifiques d'un problème posé. Elles n'ont a priori aucune raison d'être pérennes si leur but ne l'exige pas, et en conséquence beaucoup d'entre elles fonctionnent souvent moins de cinq ans.

Ce catalogue des points de mesure du réseau en trois ensembles paraît avoir une consistance un peu théorique. Il importe maintenant de justifier pourquoi et comment cette notion et cette définition du réseau ont vu le jour.

Toutes les démarches de l'analyse qui va suivre sont récapitulées dans l'organigramme de l'annexe I.

1.1. — Le stade antérieur à la création du réseau.

A l'origine, les points de mesure sont installés pour résoudre un problème précis ou simplement pour constituer un ensemble dont la répartition géographique paraît satisfaisante, quand les difficultés d'implantation n'obligent pas à s'éloigner d'une telle répartition.

Une distinction peut être décidée entre diverses catégories de points de mesure quand on considère que :

a) la fermeture d'un point de mesure est toujours possible quand le problème qui l'a motivé est résolu ; cette fermeture entraîne un tarissement de l'information collectée. Or les études à base de statistique exigent des chroniques de longue durée que cette information limitée dans le temps ne fournit pas. Maintenir des stations de mesure permanentes et complètes est donc une nécessité ;

b) le coût de la création d'un nombre considérable de postes de mesure doit être minimisé. Il faut obtenir le maximum d'informations pour le moindre coût. La solution paraît être dans la disponibilité de stations permanentes, sources d'une information riche susceptible de valoriser les observations de courte durée collectées aux points de mesure installés pour répondre à un besoin précis.

1.2. — La création du réseau.

Ainsi se justifie la notion de réseau et la hiérarchie établie entre les stations de base — primaires et secondaires — lieux pérennes d'observations complètes, et les stations tertiaires, à vocation pratique et limitée soit dans la portée, soit dans le temps.

Mais il est logique que l'objectif tertiaire ait été et reste prioritaire dans la création de stations. La notion de réseau lui est postérieure. Si l'ensemble des stations tertiaires ne constitue pas un réseau, celui-ci s'édifie a posteriori et de préférence par prélèvement dans cet ensemble tertiaire pour mettre en place l'ossature de base primaire-secondaire.

1.3. — Le développement du réseau.

C'est la réalisation effective du groupe des stations de base. On parle alors de *réseau minimal*, c'est-à-dire qui assure une couverture correcte, sans lacune, du paysage géographique du territoire. Il est fortement conseillé de procéder à une planification de ce réseau minimal, comme on le verra plus loin.

A un stade ultérieur de développement, le réseau de base ayant selon toute vraisemblance dépassé le niveau minimal précédent, et son ancienneté devenant notable, il faut procéder à sa rationalisation, de laquelle doit sortir un *réseau optimal*. Le réseau optimal a une densité suffisante et une répartition adéquate pour permettre l'estimation, directe ou par extension statistique, de toute caractéristique observée en une station de base quelconque, et cela avec une précision connue et en admettant un certain risque choisi. Ce réseau permet également de valoriser au maximum, par extension statistique, toute information de courte durée collectée en une station tertiaire quelconque.

1.3.1. - Les critères du développement.

Au début, le réseau minimal se crée en quelque sorte librement par choix a priori ou par ponction dans l'ensemble tertiaire. Cette liberté peut subsister sans entrave jusqu'à ce qu'un certain seuil de densité soit franchi ; alors il importe de procéder à la *planification* du réseau minimal.

On admet également que franchi un autre seuil de densité, le degré de développement du réseau appelle une *rationalisation*.

Ces seuils de densité constituent des critères à utiliser pour statuer sur l'état de développement du réseau et décider de l'opportunité ou de l'urgence d'une planification ou d'une rationalisation.

Remarque.

En matière de planification, on peut admettre que si les stations de plus de 10 ans sont intouchables jusqu'à leur rationalisation, les stations récentes par contre peuvent sans scrupules être déplacées : perte réduite d'information ponctuelle au lieu abandonné, gain présumé de poids régional de l'information avec le nouveau site.

1.3.2. - Exemple concret de l'état de développement d'un réseau.

Nous avons étudié particulièrement le réseau pluviométrique d'Alsace, tel qu'il se présentait à la fin de 1965.

Pour une superficie totale de 8 400 km², on dénombrait alors 152 stations soit en exploitation, soit abandonnées, correspondant donc à une densité de 18 stations pour 1 000 km², ou 1 station pour 55 km².

Or, les normes établies dans le Guide de l'O.M.M. conseillent 1 station pour 100 à 250 km² en région accidentée pour le réseau minimal : ce stade de développement du réseau est donc largement atteint, et il semble qu'on aurait dû planifier le développement il y a déjà longtemps.

On se trouve donc à la fin de 1965 en présence d'un réseau pratiquement deux fois plus dense que le réseau minimal, et il est probable que la planification n'ayant pas été faite à temps, n'est plus à faire : il s'agit maintenant de rationaliser ce réseau.

En effet, une telle rationalisation est possible à partir du moment où la densité dépasse la valeur normalisée pour un réseau minimal, même si l'on ne prend en compte que les stations susceptibles d'être élevées au rang de primaires.

Dans le cas de l'Alsace, on devait procéder, pour faire cette sélection, à l'élimination de :

- 27 stations où les observations ne sont complètes qu'en été ;
- 40 stations observées moins de 8 années, dont l'étude statistique peut être jugée impossible ;
- 15 stations observées seulement un peu plus de 8 années, ces observations étant antérieures à 1936 (ce qui peut faire craindre que la remise en exploitation éventuelle ne soit pas possible dans les mêmes conditions exactes d'environnement).

Sur 152, il restait donc 70 stations susceptibles d'être élevées au rang de primaires, et comme ce chiffre correspond à une densité de 1 pour 120 km², on peut dire qu'il est urgent de rationaliser le réseau.

Remarque.

Il n'est pas inutile de constater que la phase de développement planifié ayant été supprimée, certaines imperfections peuvent subsister dans le réseau même rationalisé : lacunes dans la couverture géographique des régions montagneuses les moins accessibles par exemple. Nous verrons que la mise en œuvre du plan de développement rationalisé permet cependant d'y remédier, à condition d'être prévenu, par le choix judicieux des déplacements de stations secondaires.

1.4. — Essai de définition générale d'un objectif de rationalisation.

Si l'on se propose de rationaliser un réseau de mesures, cela signifie que l'on part d'une « situation » concrète à une date déterminée, et que l'on recherche les moyens à mettre en œuvre pour obtenir, au bout d'un certain délai qu'on définira par une date d'échéance J :

- a) soit une « situation » optimale pour un coût fixé à l'avance ;
- b) soit une « situation » améliorée fixée à l'avance pour le coût minimal.

Ce que nous appelons « situation » peut être décrit par :

- la densité et la répartition géographique des points faisant partie ou ayant fait partie du réseau, à la date considérée ;
- la précision avec laquelle est connue la valeur ponctuelle de la grandeur physico-climatique considérée, en chacun de ces points ;
- la probabilité du risque de non-satisfaction de cette précision (notion pratiquement indissociable de celle de précision).

Remarque.

Notons que cette description est celle d'un certain volume d'information élaborée, qui est fonction d'un volume de données d'observations disponibles ; si l'on se place à un stade intermédiaire de l'élaboration de l'information, on voit que le volume de celle-ci est fonction à la fois :

- du volume de données d'observations disponibles, chaque station étant considérée indépendamment des autres ;
- du gain obtenu à partir de ces données grâce à des opérations statistiques d'extension.

1.4.1. - Coût fixé à l'avance, recherche d'une « situation optimale ».

On peut, si les frais d'implantation des stations sont négligeables vis-à-vis des frais d'exploitation, exprimer ce coût en nombre de stations-années d'observations.

L'optimisation peut alors s'entendre comme la recherche :

- soit d'un nombre maximal d'emplacements où l'on possèdera des données ;
- soit d'une précision p maximale sur ces données ;
- soit d'un minimum du risque α associé à cette précision.

Il est donc possible d'optimiser l'une des trois variables citées ci-dessus, à condition de se fixer a priori les deux autres.

a) Dans le cas du premier de ces modèles d'optimisation, il est logique de se fixer les valeurs des deux variables « précision » et « risque » avec une certaine souplesse, car il est impossible d'obtenir l'uniformisation géographique de ces variables : on se fixera deux seuils, et l'optimisation sera considérée comme approchée chaque fois que toutes les données satisferont à la fois à ces deux seuils ; la meilleure approximation correspondra comme on l'a vu à un nombre maximal d'emplacements, et il paraît évident qu'elle correspondra aussi au « gaspillage » minimal, si l'on peut appeler ainsi le nombre d'emplacements où ces données sont obtenues, sans qu'on l'ait voulu, avec une précision supérieure ou un risque inférieur aux seuils choisis (en réalité, précision et risque peuvent être, comme on le verra plus loin, représentés par une seule fonction $f(p, \alpha)$ et il suffit alors de considérer un seul seuil f_0 sachant que plus f est faible, meilleure est la connaissance de la grandeur : la condition s'exprime alors par $f \leq f_0$).

b) Les second et troisième modèles d'optimisation peuvent être, pour simplifier, réduits à un seul, dans lequel on se fixe à l'avance le nombre d'emplacements N où des données devront être disponibles, et l'on cherche, en même temps que ce résultat, à obtenir qu'en chaque point la « fonction de précision et risque » $f(p, \alpha)$ soit telle que, pour l'ensemble du réseau, la valeur maximale f_x de f soit la plus faible possible.

Tout comme dans le premier modèle, l'optimisation s'obtient par la comparaison des diverses situations possibles. Si l'on imagine un couple de situations dont :

- la première est telle qu'en chacun des N points du réseau, la fonction $f(p, \alpha)$ est bornée inférieurement par f_{m1} et supérieurement par f_{x1} :

$$f_{m1} < f < f_{x1} ;$$

- la seconde est telle que l'on a de même :

$$f_{m2} < f < f_{x2} ;$$

c'est la situation correspondant à la plus faible des valeurs f_{x1} et f_{x2} qui est la meilleure (même si, ce qui est probable, elle correspond à la plus forte des valeurs f_{m1} et f_{m2} , ce fait exprimant seulement un plus faible « gaspillage » au sens défini plus haut).

Cependant, ces second ou troisième modèles d'optimisation sont très difficiles à mettre en œuvre, car la définition à l'avance d'un nombre d'emplacements N est une décision que peu d'utilisateurs peuvent formuler :

- d'une part, ces modèles d'optimisation reposent sur l'hypothèse que l'on a choisi N inférieur au nombre total d'emplacements où l'on possède des données à la date de la rationalisation ; or on est, généralement à juste titre, enclin à considérer que les données déjà recueillies en un point doivent tôt ou tard pouvoir être « étendues » et l'on risque, ici, de voir cette extension retardée pour certains points jusqu'à la date d'échéance d'un objectif ultérieur ;
- d'autre part, le mécanisme d'optimisation que l'on peut imaginer dans ces modèles est susceptible de conduire, si l'on n'y prend pas garde, à une situation où les N emplacements choisis seront groupés dans une faible fraction de la surface totale de la région étudiée ; il est nécessaire de préciser a priori un seuil de « mauvaise répartition géographique » à ne pas dépasser, et il y a là une difficulté supplémentaire.

En conclusion, le coût étant fixé à l'avance, le modèle de rationalisation que nous retiendrons est le premier des trois que nous avons imaginés (paragraphe 1.4.1. a).

Remarque.

Si les frais d'implantation des stations sont importants, le coût fixé à l'avance sera réparti, dans chaque éventualité de conduite du développement du réseau, entre deux postes de dépenses, les investissements et le fonctionnement. Ceci viendra compliquer les modèles d'optimisation, et en particulier celui que nous avons retenu, mais dans le cas d'un réseau pluviométrique, on peut négliger peut-être le poste des investissements.

1.4.2. - Une « situation » à atteindre est fixée à l'avance.

Si l'on veut définir cette situation, afin de rechercher un moyen de l'atteindre pour un coût minimal, il ne faut évidemment pas la définir de façon absolument rigide : comme nous le disions à propos du premier des modèles envisagés (paragraphe 1.4.1. a), il faudra se contenter d'un seuil pour la fonction $f(p, \alpha)$; la liste des N emplacements où des données devront être disponibles peut par contre, pour simplifier, être fixée à l'avance, et ce sera par exemple la liste des emplacements où il y a déjà des données accumulées pendant au moins 8 ans, avant la date de la rationalisation. (N pourrait être un nombre très supérieur, incluant plusieurs emplacements successifs pour chaque station secondaire.)

Le coût minimal peut être obtenu en choisissant une des combinaisons possibles des vocations de chaque emplacement (obtention des données au point considéré avec ou sans extension par une autre série, extension ou non d'une ou plusieurs séries de données en des points voisins), les périodes d'observations en chaque point étant différentes pour chaque combinaison.

Cependant, on a ici un modèle ne permettant pas de fixer définitivement les stations primaires, et il faut même, pour le mettre en œuvre, que celles-ci soient déjà fixées, afin que l'on puisse interdire leur fermeture dans le mécanisme de recherche du coût minimal.

Le modèle de rationalisation ainsi défini peut être éventuellement compliqué en tenant compte d'un poste de dépenses d'investissement, où entreraient les frais de déplacement des stations secondaires.

Remarque.

Si ce modèle est mis en œuvre pour différentes dates d'échéances J de plus en plus rapprochées, le coût déterminé sera de plus en plus élevé puisqu'on pourra compter de moins en moins sur un « gain » important d'information. Mais il est possible qu'il existe une date J_0 , correspondant à un coût limite tel, que l'augmentation de coût rapportée au temps gagné devienne prohibitive au-delà de ce seuil. La détermination de J_0 n'a d'intérêt que si l'on part d'éléments très bien définis de prospective économique.

De plus, si l'on considère une échéance J_N très éloignée, telle que plusieurs étapes de rationalisation comme l'étape de 0 à J soient réalisables, suivant le modèle 1.4.2., avant la date J_N , il se peut qu'il apparaisse une durée d'étape optimale, qui corresponde à la meilleure « situation » à la date J_N rapportée au coût global correspondant. Mais encore faudrait-il qu'on sache exprimer la valeur d'une situation en termes économiques, et que la situation à la date J_N soit à coup sûr celle qui doit faire l'objet de la prospective, de préférence aux situations escomptées pour la fin de chaque étape intermédiaire.

II. — CHOIX DE LA VARIABLE A CONSIDÉRER POUR RATIONALISER UN RÉSEAU

(CAS D'UN RÉSEAU PLUVIOMÉTRIQUE ET ALLUSIONS RAPIDES A D'AUTRES CAS)

La grandeur physique mesurée étant la hauteur des précipitations, les données ont toujours la structure d'une fonction intégrale de la variable temps : on peut considérer une infinité de variates qui sont chacune une intégrale définie par un intervalle de temps de base différent : heure, jour, mois, année, etc.

Ces variates elles-mêmes doivent être étudiées par une méthode statistique afin de déterminer de nouvelles variates, chacune caractéristique d'un point de réseau : on peut alors s'intéresser par exemple à une valeur moyenne, ou bien à une valeur rare de fréquence donnée, mais nous verrons que le premier de ces deux choix paraît souvent le seul réaliste (voir paragraphe 2.2.b).

2.1. — Point de vue utilitaire.

La rationalisation ne peut être recherchée que pour une variate à la fois, et les résultats obtenus pour deux variates peuvent être très différents. On peut alors :

- soit rationaliser pour une seule variate, qu'il faut choisir avec soin ;
- soit faire successivement plusieurs études de rationalisation pour diverses variates, et mettre en application les résultats qui s'avèrent les plus exigeants (solution qui peut être envisagée pour un réseau hydrométrique).

L'étude du cas de l'Alsace nous a montré que pour rationaliser un réseau pluviométrique, *il faut choisir la variate \bar{P} , hauteur moyenne des précipitations annuelles*, choix commandé d'abord par un critère d'utilité. Pour qui dispose des résultats d'une étude de rationalisation faite avec la variate \bar{P} , il est possible en première approximation d'utiliser ces résultats si l'on s'intéresse en plus à certaines variates autres que \bar{P} , et dont la connaissance n'exige pas un réseau plus serré.

Nous pensons ici essentiellement à des hauteurs journalières de précipitations de faible fréquence au dépassement (par exemple, de fréquence décennale : ${}_j p_{10}$).

En effet, ${}_j p_{10}$, et \bar{P} , considérées comme deux fonctions de la variable « position dans l'espace », sont en général étroitement liées, et la variabilité propre de ${}_j p_{10}$ est faible. Il en est de même si l'on s'intéresse à des intensités-durées à une échelle de temps plus courte que la journée, et le fait bien connu que l'on accepte un réseau d'implantation des pluviographes moins dense que celui des pluviomètres trouve ici une justification.

2.2. — Point de vue mathématique.

a) Plaçons-nous d'abord, pour simplifier, dans le cas où la variate choisie est la moyenne interannuelle d'une variate gaussique définie directement à partir de séries chronologiques (exemple de variate choisie : \bar{P} définie plus haut).

Le calcul du gain, étape indispensable de l'étude de rationalisation, peut être effectué sans difficultés comme nous le montrerons au passage dans l'exposé suivant.

On sait qu'une estimation \hat{Y} de la moyenne en B (moyenne de Y), compte tenu des observations X à la station primaire A, est donnée par l'équation de la droite de régression de Y en X, où l'on donne à X la valeur \bar{X} . Si n est le nombre d'années d'observations de X, k le nombre d'années

d'observations simultanées de X et Y et r le coefficient de corrélation entre les variables X et Y, la précision avec laquelle est connue \bar{Y} par l'estimation \hat{Y} est la même que par l'estimation que fournirait une série de k' années d'observations directes en B, avec :

$$k' = \frac{k}{E}$$

$$E = 1 + \left(1 - \frac{k}{n}\right) \left[\frac{1 - (k-2)r^2}{k-3}\right];$$

(on voit que k' est compris entre k et n , et le gain, si on veut l'explicitier, est $G = k' - k$).

L'efficacité relative, représentée par cette expression E, tend vers la valeur suivante quand n croît indéfiniment :

$$E \rightarrow \frac{k-2}{k-3} (1 - r^2) \quad \text{si } n \rightarrow \infty.$$

Nous pouvons raisonner en nous plaçant dans ce cas limite sans nuire à la généralité de l'exposé.

L'exigence simultanée d'une précision relative $p\%$ sur \bar{Y} et d'un risque inférieur ou égal à $\alpha\%$ s'exprime par l'inégalité :

$$t \text{ (écart-type de } \bar{Y}) \leq \frac{p \hat{Y}}{100};$$

(où t est la variable réduite de Gauss associée à α , par exemple $t = 1,645$ pour $\alpha = 10\%$).

Or, l'écart-type de \bar{Y} peut être estimé :

$$\frac{s_y}{\sqrt{k'}}.$$

L'inégalité fondamentale devient, en adoptant la valeur limite de E pour l'efficacité relative :

$$t^2 s_y^2 \frac{(k-2)(1-r^2)}{k(k-3)} \leq \left(\frac{p}{100}\right)^2 \hat{Y}^2.$$

On peut introduire ici le coefficient de variation :

$$C_v = \frac{s_y}{\hat{Y}};$$

et poser $a^2 = \left(\frac{p}{100t}\right)^2$ que nous appellerons plus loin « fonction précision - risque », et l'on a :

$$\frac{(k-2)(1-r^2)}{k(k-3)} \leq \frac{a^2}{C_v^2}.$$

(La fonction a^2 n'est autre qu'une expression de la fonction définie plus haut dans le cas général par $f(p, \alpha)$.)

En se plaçant dans le cas de l'égalité des deux membres, la résolution fournit le seuil de durée d'observation nécessaire k à la station B.

Cette résolution conduit à une expression simple à condition de poser :

$$u^2 = \frac{C_v^2}{2a^2} (1 - r^2) + \frac{3}{2}$$

On doit alors choisir pour k la valeur de l'une des deux racines d'une équation du second degré :

$$k = u^2 \pm \sqrt{(u^2 - 2)^2 + 2}$$

Les deux racines sont des fonctions croissantes de u^2 , ce qui ne permet pas de choisir entre elles.

Si l'on exige une précision infiniment grande (donc si p est infiniment petit), u^2 tend vers l'infini et k également s'il est l'une des deux racines de l'équation (bien que la plus petite racine soit un infiniment grand d'ordre inférieur) : on ne peut choisir entre ces racines en raisonnant ainsi.

Si l'on considère une corrélation infiniment forte (donc si r tend vers 1), u^2 tend vers 1,5 et les racines k de l'équation du second degré tendent respectivement vers 0 et 3. Il est évident que la plus grande racine seule convient, puisque pour $k = 0$ aucune extension n'est possible.

On a donc :

$$k = u^2 + \sqrt{(u^2 - 2)^2 + 2}$$

Finalement, on voit que k peut être calculé, en chaque point du réseau actuel, en fonction du coefficient de variation (C_v) de la variable Y, du coefficient de corrélation (r) entre les variables X et Y (la série X étant observée à l'une des stations primaires), et de la « fonction précision - risque » (a^2).

b) Il nous semble inutile de traiter théoriquement le cas où la variate choisie est un quantile défini à partir d'une variate gaussienne (exemple de variate choisie : hauteur annuelle de précipitations de faible fréquence au non-dépassement, ou si l'on veut, plus précisément, s_{p10} valeur décennale sèche).

En effet un tel quantile n'est pas lui-même une variate gaussienne, et l'exposé (a) n'est plus valable, à commencer par les formules permettant le calcul du gain : le problème est sensiblement plus complexe. D'ailleurs, on doit dire que c'est aussi un problème sans intérêt pratique en pluviométrie mais il nous faut raisonner en supposant qu'un essai de résolution a été fait, pour situer le niveau de la connaissance d'un quantile dans le cas où le réseau a été rationalisé pour la moyenne.

Il semble évident que la conclusion de l'exposé mathématique précédent reste valable sur le plan qualitatif : possibilité de calcul de k en fonction de C_v , r et a^2 , et même prévision du sens de variation de k lorsque C_v croît (k doit croître également) et lorsque r croît (k doit alors décroître).

Sachant que C_v est plus élevé pour un quantile que pour une valeur moyenne et que selon toute vraisemblance r doit être au maximum du même ordre, on peut dire que si la rationalisation faite pour la moyenne exige un certain volume d'observations, celles-ci seront insuffisantes pour atteindre un même objectif pour ce qui concerne un quantile (et même très insuffisantes si le quantile est inférieur à la moyenne).

c) Dans certains cas, la variate choisie peut être la moyenne ou un quantile d'une variate non-gaussienne définie directement à partir de séries chronologiques (exemple de variate choisie : moyenne interannuelle de la hauteur pluviométrique d'un mois déterminé).

Ne pouvant aisément traiter le problème du calcul de k , nous pouvons admettre que ce calcul fait intervenir C_v et r dans le même sens que précédemment (b).

Supposons encore une fois que la rationalisation a été faite pour la variate \bar{P} , et que les calculs reposaient sur des valeurs $(C_v)_P$ et r_P fournies par les séries chronologiques P de hauteurs annuelles de précipitations.

Si la variate non-gaussienne P' , considérée maintenant, présente à la fois des valeurs $(C_v)_{P'}$, supérieures à $(C_v)_P$ et des valeurs $r_{P'}$ inférieures à r_P , le volume d'observations fourni par le réseau rationalisé pour \bar{P} sera tel que la « situation », à une date future, sera toujours « moins bonne » pour \bar{P}' que pour \bar{P} ; la proposition inverse peut également être énoncée. Mais si l'on ne peut affirmer que les inégalités :

$$(C_v)_{P'} > (C_v)_P \quad \text{ou} \quad (C_v)_{P'} < (C_v)_P ;$$

sont nettement toutes de même sens en tous les points du réseau, et qu'il en est de même des inégalités :

$$r_{P'} < r_P \quad \text{ou} \quad r_{P'} > r_P ;$$

il est difficile de juger a priori si la rationalisation faite pour \bar{P} sera trop ou pas assez exigeante en volume d'observations pour satisfaire à la connaissance de \bar{P}' .

On peut suggérer alors que le problème de la rationalisation pour \bar{P}' soit traité indépendamment des résultats obtenus pour \bar{P} , et par la même méthode, à condition de commencer par effectuer un changement de variable $\pi' = \varphi(P')$ tel que π' soit une variate normale. Il faut ajouter que dans cette entreprise, on doit aussi définir un intervalle de confiance « élargi » $IC(\bar{P}')$ centré sur \bar{P}' et calculé conventionnellement de telle sorte qu'il enveloppe dans tous les cas l'intervalle correspondant à $IC(\bar{\pi}')$: la rationalisation (faite en réalité pour $\bar{\pi}'$) sera transposable à \bar{P}' avec une certaine perte de précision, ce qui signifie par conséquent qu'elle répondra seulement d'une manière approximative à l'objectif d'optimisation.

Remarque.

Si l'on prend, comme nous l'avons fait, la précaution de rationaliser le réseau pour \bar{P} dans diverses hypothèses où l'exigence de qualité de l'information est forte (faibles valeurs de $\alpha^2 = f(p, \alpha)$ choisies), l'information concernant une variate quelconque P'' sera accessible à partir de \bar{P} et la qualité obtenue sera acceptable même si la liaison entre \bar{P} et P'' n'est pas linéaire et n'est pas très forte, (alors qu'en rationalisant un réseau hydrométrique, on risque de trouver des variates quasiment indépendantes).

III. — GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTHODES DE RATIONALISATION

3.1. — Exposé général des diverses méthodes.

3.1.1. - *Méthode sommaire d'approche: comptabilisation d'un volume d'observations aux stations secondaires.*

Nous avons imaginé tout d'abord que le réseau pouvait comporter un certain nombre de stations primaires observées assez longtemps pour que leur *durée d'observation* n soit *considérée comme infinie*.

Les nombres d'années k calculés station par station grâce aux opérations décrites plus haut (paragraphe 2.2. a) peuvent être cumulés et fournir ainsi un volume total V d'observations nécessaires aux stations secondaires.

Ce volume doit être logiquement d'autant plus faible que le nombre de stations primaires est plus élevé, puisqu'en choisissant judicieusement pour chaque secondaire S_i la station primaire à utiliser dans le calcul de k_i , on peut minimiser chacun des nombres k_i .

Le coût des opérations conduisant à une « situation » donnée à une date fixée J (assez éloignée dans le futur pour qu'en toute hypothèse toutes les stations secondaires soient connues comme on l'exige), dépend du volume V , du nombre de stations primaires, et d'un facteur correctif lié à la durée réelle (non infinie) des observations disponibles aux stations primaires à la date J .

Il est donc peut-être intéressant de calculer les volumes V dans diverses hypothèses de choix de stations primaires plus ou moins nombreuses, sachant que l'optimisation ne doit pas être forcément la maximisation de V , et sachant que l'on pratique ainsi une méthode d'approche dont l'intérêt sera au moins de vérifier si toutes les stations primaires choisies peuvent effectivement remplir leur rôle.

3.1.2. - *Comptabilisation des stations primaires.*

Toujours dans l'hypothèse où les durées n d'observation des stations primaires peuvent être considérées comme infinies, nous avons imaginé en outre que la *durée d'observations des stations secondaires* était uniformément limitée à *quelques dizaines d'années*.

Quelle sera la méthode à adopter pour étudier le réseau en admettant ces hypothèses? La définition d'une durée limite paraît impliquer celle d'une date J dans le futur, à laquelle on se réfère pour fixer un objectif de rationalisation.

En réalité, les périodes d'observation des stations commençant dans le passé à des dates très variées, la méthode que nous cherchons à définir fournira des résultats qu'il sera assez laborieux de traduire en termes de consignes de rationalisation, que celle-ci soit faite suivant un modèle à « situation » fixée à l'avance ou à coût fixé à l'avance.

La méthode adoptée, dénombrement des stations qui doivent être primaires pour que les données soient connues en satisfaisant à une condition $f(p, \alpha) \leq f_0$, aura au moins, en dehors de toute référence à la poursuite d'un objectif, l'intérêt de mettre en œuvre un mécanisme de sélection des stations primaires.

En pratique, cette sélection peut être effectuée après avoir décidé de choisir un certain nombre de stations « *primaires initiales* ». Si la première méthode décrite (paragraphe 3.1.1.) permet de conclure que quelques stations peuvent jouer ce rôle, il suffit d'appliquer la deuxième méthode pour sélectionner de « *nouvelles stations primaires* » : le mécanisme de sélection étant complexe, il est plus économique d'agir ainsi, plutôt que d'utiliser ce mécanisme pour la sélection de toutes les stations primaires.

3.2. — Exploitation des méthodes de rationalisation.

Avec les résultats obtenus par les deux méthodes que nous venons de voir, on doit élaborer des consignes de rationalisation.

C'est ici qu'il faut décider si l'objectif sera une situation fixée à l'avance ou un coût fixé à l'avance.

3.2.1. - Situation fixée à l'avance, recherche du coût minimal.

Exploitant les résultats fournis par la deuxième méthode, (paragraphe 3.1.1.), la recherche d'un coût minimal peut être faite en ajoutant au « volume » V (nombre de stations-années d'observations aux stations secondaires), le nombre de stations-années d'observations aux stations primaires, jusqu'à la date J fixée pour échéance (« volume » V_p).

En toute rigueur, il faut d'ailleurs augmenter V de ΔV pour compenser le fait que les stations primaires ne seront pas observées indéfiniment. Une étude sommaire des corrections à apporter à k (durée pendant laquelle une station secondaire doit être observée) pour quelques couples « primaire - secondaire » permettrait sans doute de corriger globalement V sans erreur appréciable.

Il se peut qu'on obtienne la valeur minimale de $(V + \Delta V + V_p)$ avec l'hypothèse du lot de stations primaires le plus important : en pareil cas, il faudrait appliquer une deuxième fois la méthode du paragraphe 3.1.1. (une fois connus les résultats de la sélection des « nouvelles primaires » par la méthode du paragraphe 3.1.2.) pour découvrir un nombre optimal de stations primaires correspondant au minimum de $(V + \Delta V + V_p)$.

Remarque.

En supposant que l'on applique à la lettre les consignes de rationalisation qui résultent de cette recherche du coût minimal, les dépenses seront réparties en :

- frais d'exploitation du réseau secondaire pendant n_s années (par exemple 20 à 50 ans suivant les stations) ;
- frais d'exploitation du réseau primaire pendant $n_s + n_p$ années (en tout, par exemple 200 à 220 ans suivant les stations).

Il n'est pas inutile de signaler que l'optimisation doit être recherchée en tenant compte d'une formule d'*actualisation du prix unitaire des stations-années d'observation*. Devant un plan de rationalisation à échéance très éloignée, il est certain que les décisions prises dans l'hypothèse d'un prix unitaire invariable seraient très peu réalistes. Elles risquent d'ailleurs de l'être encore, à un moindre degré, si le taux d'actualisation est mal choisi.

3.2.2. - Coût fixé à l'avance, recherche de la situation optimale.

L'objection qui vient d'être soulevée se justifie moins si l'on définit le nombre optimal de stations primaires par la comparaison de divers plans de développement du réseau dans lesquels le nombre total de stations en exploitation reste *inchangé* jusqu'à l'échéance du plan.

Il suffit de décider que chaque station secondaire sera *déplacée* dès qu'on y aura obtenu la grandeur physico-climatique étudiée, en satisfaisant aux conditions de précision et de risque associé :

$$f(p, \alpha) \leq f_0;$$

(ceci est d'ailleurs conforme à la vocation des stations dites secondaires).

A partir des résultats obtenus par la première méthode (paragraphe 3.1.1.), on peut effectuer une opération analogue à celle que nous avons décrite ci-dessus (paragraphe 3.2.1.), mais au lieu de s'arrêter au calcul $(V + \Delta V + V_p)$, traduire les nombres d'années en nombres d'emplacements de mesure, en fonction de la décision prise : si la base de temps est T années (jusqu'à la date J), chaque station primaire compte pour 1 emplacement et chaque secondaire pour laquelle on a déterminé un nombre k compte pour $\frac{T}{k}$ emplacements (quotient arrondi à l'unité inférieure) ou $\frac{T}{k} + 1$ si à la date 0 on a déjà suffisamment de données à cette station.

Comme dans le modèle d'exploitation précédent (paragraphe 3.2.1.) et bien plus probablement ici, l'apparition d'un nombre optimal de stations primaires sera seulement obtenue en prenant en compte des « nouvelles primaires » en plus « des primaires initiales ».

3.2.3. - Politique à suivre à court terme.

Les deux méthodes décrites plus haut (paragraphe 3.1.1. et 3.1.2.) peuvent donc, en principe, être appliquées de façon conjuguée pour définir un plan de développement partant de la date 0, date de l'étude de rationalisation.

3.2.3.1. - ÉTABLISSEMENT DU PLAN DE RATIONALISATION POUR L'ÉCHÉANCE J.

Il suffit, semble-t-il, d'opérer en trois étapes :

a) Sélectionner *a priori* N_{SPI} « stations primaires initiales », en vérifiant par la méthode du paragraphe 3.1.1. que ce choix est judicieux ;

b) Déterminer des lots de N_{SPP} « stations primaires présélectionnées », chaque lot comportant les N_{SPI} plus un certain nombre de « nouvelles primaires » (par la méthode du paragraphe 3.1.2.) ;

c) Déterminer le lot de N_{SPS} « stations primaires sélectionnées », parmi les lots N_{SPP} , en appliquant la méthode du paragraphe 3.1.1., modifiée de telle sorte que le calcul des durées k tienne compte des durées n d'observation des stations primaires arrêtées à la date J d'échéance du plan de développement (la sélection du lot N_{SPS} étant basée sur le calcul du nombre total d'emplacements escomptés avant la date J, recherche de situation optimale définie au paragraphe 3.2.2.).

Cependant, la « présélection » (deuxième étape) a été établie dans l'hypothèse où les « nouvelles primaires » comme les « primaires initiales » sont des stations observées indéfiniment, et les lots de N_{SPP} stations ne sont donc pas en toute rigueur ceux qu'il faut considérer au départ de la troisième étape. Il pourrait en être à peu près ainsi si l'on se fixait une date J très lointaine, mais ceci serait peu réaliste.

On pourrait essayer de modifier la méthode du paragraphe 3.1.2. afin de prendre en compte les durées n d'observation des stations primaires arrêtées à une date J. Le résultat obtenu serait une série différente de lots de N_{SPP} stations, et même plusieurs séries différentes entre elles suivant la date J choisie. Chaque série servirait alors au départ d'une troisième étape.

La mise au point d'une méthode adéquate pour la deuxième étape nous paraît très difficile et doit conduire à un mécanisme de sélection d'emploi coûteux même en calcul automatique. Nous avons préféré proposer un plan de rationalisation en deux phases.

3.2.3.2. - ÉTABLISSEMENT DU PLAN DE RATIONALISATION AVEC UNE ÉCHÉANCE INTERMÉDIAIRE J'.

a) La première phase de développement, jusqu'à la date J' (échéance intermédiaire), pourrait avoir pour but d'homogénéiser la connaissance de la grandeur mesurée aux divers points du réseau, tout en augmentant le plus possible le nombre de ces points.

b) On entre alors dans la deuxième phase. Pour établir des consignes valables dans cette phase on mettra en œuvre à la date J' le processus de rationalisation décrit en trois étapes de calcul au paragraphe 3.2.3.1.

Grâce à « l'homogénéisation de la connaissance » déjà obtenue le résultat de la présélection de la deuxième étape est, plus qu'à la date 0, voisin de ce que fournirait la méthode parfaitement adéquate que nous avons renoncé à mettre au point : le résultat final (sélection du lot de N_{SPS} stations) n'en est que meilleur pour ce qui concerne l'optimisation recherchée jusqu'à la date J. De plus, chacun des lots N_{SPP} et en particulier le lot N_{SPS} est, plus que celui qu'on déterminerait à la date 0, satisfaisant pour ce qui concerne des objectifs futurs très éloignés, car la sélection effectuée dans la deuxième étape utilise évidemment des coefficients de variation et des coefficients de corrélation interstations pour le calcul du gain, et ces paramètres C_v et r sont connus avec plus de précision si l'on tient compte des observations poursuivies jusqu'à la date J'.

Remarques.

a) « L'homogénéisation de la connaissance » de la grandeur mesurée peut être obtenue grossièrement en fermant à la date 0 les stations déjà observées depuis longtemps et non retenues parmi les « primaires initiales ».

Ceci permet, dans l'hypothèse où le nombre d'emplacements reste fixe jusqu'à la date J', d'utiliser l'équipement des stations fermées pour de nouveaux emplacements. Il suffit de choisir une date J' assez éloignée (dans 20 ans par exemple pour la variate \bar{P} considérée en Alsace), pour que les nouveaux emplacements soient connus à cette date de façon assez satisfaisante; de plus, disons que puisque l'homogénéisation recherchée concerne surtout l'ensemble des stations susceptibles de devenir primaires, peu importe si l'ensemble des nouvelles stations est nettement moins bien connu. Le choix des emplacements nouveaux doit éventuellement tendre à combler les lacunes du réseau, si l'étape de « développement planifié » n'a pas été réalisée (voir paragraphe 1.3.2.).

b) Si l'on veut que la première phase du plan de développement soit vraiment une étape de rationalisation, il faut que les consignes visant « l'homogénéisation de la connaissance » de la grandeur mesurée aient une efficacité maximale.

La méthode que nous proposons repose sur l'étude de toutes les possibilités d'extension des séries observées par corrélation interstations avec calcul du gain par la formule non simplifiée (voir paragraphe 2.2. a, expression de E pour n fini); ne pourront être fermées que les stations S :

- non « primaires initiales »;
- où la grandeur mesurée est déjà connue à la date 0 en satisfaisant à une condition :

$$f(p, \alpha) \leq f_0,$$

- grâce aux observations à cette station ou à l'extension effectuée à partir d'une autre station;
- ne devant pas rester ouvertes jusqu'à la date J' pour une raison dépendant d'une autre station S' quelconque (car dans certains cas, la seule possibilité pour la station S' de satisfaire à la condition $f(p, \alpha) \leq f_0$ à la date J' est que la série d'observations en S' soit étendue à partir de la série S connue également jusqu'à la date J').

(Trois conditions à remplir simultanément.)

IV. — PRÉPARATION DES DONNÉES POUR L'ÉTUDE DE LA RATIONALISATION D'UN RÉSEAU PLUVIOMÉTRIQUE (rationalisation pour la hauteur moyenne annuelle de précipitations.)

La première phase de notre étude a été consacrée au calcul systématique des paramètres statistiques des séries observées, des coefficients de corrélation entre les séries prises deux à deux, et des moyennes et variances estimées par extension dans certains cas.

Ces calculs ont été effectués grâce au programme POH 113, que nous allons décrire, et qui fait l'objet de l'annexe II.

4.1. — Données à introduire.

Pour chaque station :

a) Une carte d'identification où figurent dans l'ordre, le numéro de la station, son nom, sa latitude et sa longitude (exprimées en millimètres et lues sur un quadrillage conventionnel surimposé à la carte au 1/200 000), son altitude (en mètres) et enfin l'indice qui, s'il n'est pas nul, caractérise les stations « primaires initiales ».

Cette carte a pour format :

I5, 16X, 6A4, I7, I8, I4, 5X, II.

b) Les cartes de hauteurs annuelles de précipitations (hauteurs classées dans l'ordre chronologique), avec sur chaque carte le numéro de la station, et au minimum 10 hauteurs annuelles précédées chacune du millésime correspondant représenté par ses trois derniers chiffres.

Ces dernières cartes ont pour format :

I5, 10 (I3, I4).

Elles doivent être perforées sans laisser aucun blanc en cas de lacune (les deux millésimes encadrant cette lacune et qui apparaissent alors successivement, diffèrent de plus de 1).

Si l'on introduit les données de N stations, il faudra $N + 1$ cartes blanches, 1 après la dernière carte de données de chaque station et 1 supplémentaire à la fin du lot de cartes de données.

4.2. — Opérations effectuées.

4.2.1. - *Impressions des séries de hauteurs annuelles de précipitations, avec le même format que le format d'entrée (dans un but de vérification).*

4.2.2. - *Calcul et impression des paramètres suivants calculés pour les séries observées :*

— moyenne ;

— variance ;

- écart-type;
- coefficient de variation;
- nombre d'années d'observations.

4.2.3. - *Calcul et impression des paramètres suivants calculés pour les séries d'observations simultanées :*

- distance entre les stations couplées ;
- moyenne, variance et écart-type de la variable X (nom donné aux hauteurs de précipitations de la première station du couple) ;
- moyenne, variance et écart-type de la variable Y (pour la deuxième station du couple) ;
- coefficient de corrélation ;
- nombre d'années d'observations simultanées.

Si l'on a introduit les données de N stations, les calculs précédents seront effectués dans l'ordre suivant :

- a) couple de la première et de la deuxième station,
couple de la première et de la troisième station, etc.,
couple de la première et de la N^{ème} station ;
- b) couple de la deuxième et de la troisième station,
couple de la deuxième et de la quatrième station, etc.

4.2.4. - *Dans les cas des couples dont la première station est une « primaire initiale », aux calculs précédents s'ajoutent les calculs (avec leur impression), des paramètres suivants :*

- moyenne étendue de Y ;
- variance étendue de Y ;
- écart-type étendu de Y ;
- coefficient de variation étendu de Y.

Remarques.

a) Afin que toutes les combinaisons soient étudiées, les résultats décrits plus haut (paragraphe 4.2.3.) et concernant des couples où le numéro d'ordre de la première station est inférieur à celui de la deuxième, sont transférés en mémoire.

Les calculs d'extension sont alors possibles pour toutes les stations et quelle que soit la station primaire.

b) Si le nombre d'années observées de la série X est égal au nombre d'années observées simultanément dans les séries X et Y, c'est-à-dire s'il n'y a pas d'observations effectuées seulement à la première station du couple, les calculs décrits ici (paragraphe 4.2.4.) ne sont pas exécutés et l'impression commandée est :

« Extension impossible actuellement. »

Cette inscription est suivie de la liste des paramètres présentés comme des paramètres « étendus » (même format), mais qui sont ceux déjà calculés pour la série observée à la deuxième station du couple.

c) S'il n'y a que 0, 1 ou 2 années d'observations simultanées, les calculs décrits aux paragraphes 4.2.3. et 4.2.4. sont simplifiés :

- pas de calcul du coefficient de corrélation ;
- pas de calcul d'extension.

Que la première station du couple soit « primaire initiale » ou non, l'impression commandée est la même, pour simplifier la présentation :

« Pas d'extension (... années d'observations communes). »

d) Remarque concernant le calcul de la variance étendue et des paramètres qui en dépendent (écart-type étendu et coefficient de variation étendu).

Cette variance semble devoir être estimée dans tous les cas par la méthode d'extension appliquée dans les calculs du paragraphe 4.2.4., ceci pour mettre à profit au maximum l'information disponible.

Cependant afin d'éviter le risque d'adopter une estimation trop nettement biaisée par défaut, on ne conserve le résultat du calcul de ce paragraphe 4.2.4. que si :

- ou bien il est plus élevé que l'estimation de la variance non étendue;
- ou bien, quelle que soit sa valeur, l'extension qui l'a fourni repose sur une corrélation très forte (coefficient de corrélation supérieur à 0,95).

4.2.5. - Résultats fournis sur cartes perforées.

a) Premier lot de cartes :

Une carte par station « primaire initiale », avec :

- le numéro de la station;
- le nombre d'années d'observations;
- le coefficient de variation.

b) Second lot de cartes :

Une carte pour chacun des couples de stations où la première est l'une des « primaires initiales », et la seconde une quelconque des stations (« primaires initiales » ou non).

Les données perforées sont les suivantes (la signification de X et Y étant toujours celle qui a été précisée plus haut) :

- numéro de la première station du couple;
- nombre d'années d'observations de la série X;
- coefficient de variation de X;
- numéro de la deuxième station du couple;
- distance des deux stations (en km);
- nombre d'années d'observations simultanées;
- coefficient de corrélation;
- coefficient de variation étendu de Y.

Ces cartes peuvent être lues pour une exploitation automatique ultérieure, dans le format :

5 X, I4, 5 X, I2, 7 X, F 5.3, 6 X, I4, 3 X, F 7.0, 5 X, I2, 5 X, F 6.3, 4 X, F 5.3.

V. — CALCUL D'UN NOMBRE DE STATIONS-ANNÉES D'OBSERVATIONS DANS UN CAS PARTICULIER D'EXPLOITATION DU RÉSEAU

La deuxième phase de notre étude a consisté à mettre en œuvre la méthode décrite au paragraphe 3.1.1. : nous nous plaçons dans l'hypothèse où en un certain nombre de stations primaires (au maximum, l'ensemble dit des « primaires initiales »), on possède des observations sur une période infinie.

Dans le traitement automatique, les opérations arithmétiques sont déjà définies par le préambule théorique du paragraphe 2.2. a. Passons à la description de ce traitement (programme POH 114, qui fait l'objet de l'annexe III).

5.1. — Introduction des données pour le traitement automatique.

5.1.1. - Valeurs de la « fonction précision-risque » (a^2).

Nous avons choisi 9 valeurs correspondant à des seuils de précision de 2 à 5% et des probabilités de non-satisfaction de 2 à 10%. Les valeurs de a^2 choisies sont :

p %	2	3	4	5
$\alpha = 2\%$ ($t = 2,327$)	0,000074	0,000166		
$\alpha = 5\%$ ($t = 1,960$)	0,000104	0,000234	0,000417	0,000651
$\alpha = 10\%$ ($t = 1,645$)	0,000148	0,000332	0,000522	

En langage Fortran, a^2 a été appelé FONPR (K) et nous avons introduit les 9 valeurs a^2 , classées dans l'ordre croissant, dans une carte lue dans le format 9 F 8.6.

5.1.2. - Paramètres statistiques fournis par le programme POH 113.

Ces paramètres sont introduits en utilisant le deuxième lot de cartes perforées fourni par le programme POH 113.

Cependant, ce lot doit être complété par une carte de données conventionnelles à chaque emplacement où l'on aurait trouvé les résultats de « l'extension » d'une station « primaire initiale » par elle-même, si les instructions de contrôle du programme POH 113 n'avaient empêché l'exécution d'une telle « extension ».

Les valeurs conventionnelles adoptées sont :

- 0 pour les nombres d'années ;
- 9 pour les coefficients de variation ;
- 0 pour les coefficients de corrélation ;
- 0 pour la distance.

D'autre part, il faut intercaler une carte blanche après chaque ensemble de cartes de données d'extension des séries Y, sachant que celles-ci sont fournies dans l'ordre suivant :

- un ensemble pour l'extension à partir de la première station « primaire initiale » ;
- un ensemble correspondant à la deuxième « primaire initiale », etc.

Enfin, deux cartes blanches au lieu d'une doivent être placées après le dernier des ensembles ci-dessus.

5.2. — Opérations effectuées.

5.2.1. - *Calcul des nombres k d'années d'observations nécessaires à chaque station pour que l'extension à partir de chaque « primaire initiale » fournisse \widehat{P} en satisfaisant aux exigences exprimées par a^2 (FONPR (K) en Fortran).*

L'instruction format commandant l'impression des résultats impose la disposition suivante :

- définition sur une ligne du couple de stations appelées « station X » pour la « primaire initiale » servant de base pour l'extension, et « station Y » pour l'autre station (cette définition est suivie de la série des 9 valeurs de k , écrites sur une ligne correspondant aux 9 valeurs de a^2);
- ensemble des résultats écrit en autant de paragraphes successifs qu'il y a de stations « primaires initiales », et classé à l'intérieur de chacun de ces paragraphes dans l'ordre initial d'introduction des stations, pour les « stations Y ».

5.2.2. - *Pour la première des 9 valeurs de a^2 (celle qui conduit aux valeurs les plus grandes de k), sélection de la « station X » (« primaire initiale ») qui permet d'avoir la plus faible valeur de k .*

Cette sélection est évidemment à effectuer pour chacune des « stations Y » (qui sont des stations ordinaires ou des « primaires initiales »), et celles-ci sont traitées dans l'ordre initial d'introduction des stations.

5.2.3. - *Impression des résultats de la sélection précédente avec la disposition suivante:*

- une ligne par « station Y », et sur cette ligne :
 - indication du numéro de la « station X » sélectionnée,
 - liste des 9 valeurs de k obtenues pour ce couple X, Y.

5.2.4. - *Calcul des 9 sommes des valeurs de k , chaque somme correspondant à une valeur de a^2 et étant étendue à l'ensemble des « stations Y », exception faite de celles qui sont des « primaires initiales ».*

Le calcul est exécuté par une instruction cumulative, au fur et à mesure qu'avance l'exécution de la sélection décrite plus haut.

L'impression des résultats, qui sont appelés « nombres de stations-années », est effectuée à la suite des résultats cités ci-dessus (paragraphe 5.2.3.).

5.2.5. - *Établissement d'un vecteur INOT (I) qui permet d'utiliser successivement divers lots de « stations primaires conservées », obtenus par diminution du lot de « primaires initiales ».*

Nous avons exposé les opérations dans un ordre qui ne correspond pas à celui de leur exécution, afin que le lecteur sache déjà ce que l'on attend du traitement d'un lot de stations primaires, au moment où nous décrivons la définition des lots effectivement traités dans le programme POH 114.

Nous avons, en somme, suivi un ordre de complexité croissante qui a été celui de la mise au point de la logique du programme.

Le vecteur INOT (I) a pour éléments le chiffre 0, le chiffre 9999, et chacun des numéros d'ordre (augmentés de 1 unité), des stations « initialement primaires » (dans l'ordre d'introduction des données : numéros 2 à $(IZ + 1)$ s'il y a IZ « primaires initiales »).

Chacun de ces chiffres figure un certain nombre de fois comme élément du vecteur, et la séquence complète est composée suivant la règle ci-dessous :

IZ listes de $(IZ-1)$ numéros d'ordre, chacune suivie de 0;

- $\begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^{\text{IZ}-2}$ listes de (IZ-2) numéros d'ordre, chacune suivie de 0 ;
 1 liste des IZ numéros d'ordre, suivie de 0 ;
 IZ numéros d'ordres égaux respectivement à 1, 2, 3 ... IZ et chacun suivi de 0 ;
 $\begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^2$ listes de 2 numéros d'ordre, chacune suivie de 0 ;
 1 dernier élément, le chiffre 9999.

On aura reconnu la notation $\begin{matrix} \text{C} \\ m \end{matrix}^P$ désignant le nombre de combinaisons de m objets p à p , et on aura noté que :

$$\begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^{\text{IZ}-2} = \begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^2 = \frac{(\text{IZ})!}{(2)! (\text{IZ}-2)!}$$

Pour fixer les idées, disons que s'il y a $\text{IZ} = 6$ « primaires initiales », la séquence complète des éléments du vecteur INOT (I) comporte, sans parler des éléments 0 et 9999 :

- 6 listes de 5 ;
- 15 listes de 4 ;
- 1 liste de 6 ;
- 6 éléments isolés ;
- 15 listes de 2 ;

soit 43 combinaisons en tout.

Dans le cas où il y a $\text{IZ} = 4$ « primaires initiales », la séquence comporte de même :

- 4 listes de 3 ;
- 6 listes de 2 ;
- 1 liste de 4 ;
- 4 éléments isolés ;

soit 15 combinaisons en tout.

Une instruction de contrôle évite en effet d'établir une deuxième fois 6 listes de 2 éléments en pareil cas, et si l'on avait $\text{IZ} < 4$, d'autres contrôles interviendraient à temps, afin d'éviter par la suite des calculs « redondants ».

La prise en compte des éléments successifs du vecteur INOT (I) permet de traiter successivement les opérations décrites aux paragraphes 5.2.2. à 5.2.4., avec des lots de « stations primaires conservées » définis par les numéros de ces stations :

- avec IZ lots de (IZ-1) stations « primaires conservées » ;
- avec $\begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^{\text{IZ}-2}$ lots de (IZ-2) stations « primaires conservées », etc.

La correspondance entre une « liste » (ou combinaison d'« éléments » successifs non nuls du vecteur INOT (I)) et l'ensemble des numéros des stations d'un lot de « primaires conservées » est la suivante : chaque « élément » est diminué de 1 et devient ainsi l'indice IM permettant de retrouver un numéro de station dans le vecteur NOSTAP (IM) où sont enregistrés les IZ numéros des « primaires initiales ».

Dès que IZ est grand, les nombres $\begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^2$ sont très grands, et les nombres $\begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^3$, $\begin{matrix} \text{C} \\ \text{IZ} \end{matrix}^4$, etc., le sont encore plus. C'est pourquoi nous avons renoncé à étudier le résultat de la suppression d'un nombre de stations à la fois supérieur à 2 et inférieur à (IZ-2) : dans le cas général, le traitement de tous les cas imaginables de suppression de stations serait prohibitif, même en calcul automatique.

VI. — ÉTUDE DES CORRÉLATIONS INTER-STATIONS

Dans notre étude, cette phase prend place ici, avant la mise en œuvre de la deuxième méthode envisagée pour la rationalisation (méthode du paragraphe 3.1.2.), car nous avons craint que cette méthode ne fournisse aucun résultat pratique si l'on éliminait toutes les possibilités de sélection de stations primaires reposant sur des corrélations non suffisamment établies.

Nous partons ici des résultats fournis par le programme POH 113.

Disposant de l'ensemble des coefficients de corrélation entre les séries d'observations prises deux à deux, il était intéressant de chercher si ces coefficients ne sont pas fortement liés à la distance des stations couplées, ou à leur différence d'altitude, ou à la différence ou au rapport des moyennes pluviométriques à ces stations.

6.1. — Considérations théoriques sur un cas particulier idéal.

Si l'on pouvait, grâce à une corrélation calculée à partir des résultats du programme POH 113, estimer avec une grande précision le coefficient de corrélation caractérisant un couple de points quelconque en fonction de la distance de ces points, on essaierait par ailleurs de tracer sur la carte les lignes d'égales valeurs du coefficient de variation de Y . Si là encore l'opération ne présentait pas de difficultés, en ce sens qu'elle permettrait l'estimation précise de C_v en un point quelconque de la carte, on pourrait alors, autour de chaque station « primaire initiale » A tracer par points, en opérant de proche en proche par tâtonnements, les courbes d'égales valeurs du nombre d'années k (durée d'observation nécessaire pour l'extension désirée en B tenant compte des données de A , l'extension désirée étant définie par une valeur de a^2).

Ces courbes « iso - k » pourraient évidemment être tracées avec plus de facilité à partir des résultats du programme POH 114. Mais le tracé préalable des courbes « iso - C_v » et la connaissance de la loi liant le coefficient de corrélation à la distance permettent de tracer les courbes « iso - k » autour d'un point quelconque, et d'envisager, au moins théoriquement, une « rationalisation » plus poussée que si l'on s'en tient à la définition classique de la rationalisation.

Considérant par exemple les courbes ($k = k_0$) autour de trois stations « primaires initiales » A_1, A_2, A_3 , ces courbes peuvent se couper ou non en définissant un certain nombre de régions où les conditions d'extension peuvent présenter les 8 variantes suivantes :

- régions où $k < k_0$ si l'on choisit indifféremment l'une des trois stations A_1, A_2 ou A_3 pour calculer l'extension;
- régions où $k < k_0$ si l'on choisit indifféremment A_1 ou A_2 ;
- régions où $k < k_0$ si l'on choisit indifféremment A_2 ou A_3 ;
- régions où $k < k_0$ si l'on choisit indifféremment A_3 ou A_1 ;
- régions où $k < k_0$ seulement si l'on choisit A_1 ;
- régions où $k < k_0$ seulement si l'on choisit A_2 ;
- régions où $k < k_0$ seulement si l'on choisit A_3 ;
- régions où $k > k_0$ quel que soit le choix de A_1, A_2 ou A_3 .

S'il existe des régions où se rencontre la huitième de ces variantes, cela signifie que l'extension désirée ne peut être obtenue en tout point de la carte sans créer de « nouvelles stations primaires » qui devront être en principe, comme les « primaires initiales », observées indéfiniment.

Le choix du nombre et de l'emplacement de ces « nouvelles stations primaires » peut être effectué par tâtonnements afin d'en retenir le plus faible nombre possible : l'opération paraît théoriquement assez facile puisqu'on peut autour d'un point quelconque A_i tracer la courbe ($k = k_0$) relative à ce point, et voir s'il reste, après ce tracé, des points où $k > k_0$ quel que soit le choix de A_1, A_2, A_3 ou A_i .

6.2. — Résultats d'une exploitation graphique des résultats du programme POH 113.

Malheureusement, les corrélations recherchées se sont avérées très lâches. (D'ailleurs, on a jugé superflu d'ajuster des formules par la méthode des moindres carrés.)

Cependant, on a déterminé graphiquement des branches d'hyperboles pouvant représenter, avec une bonne approximation, la valeur la plus probable r du *coefficient de corrélation*, en fonction de la *distance* d des stations couplées, et éventuellement (pour un correctif à ajouter) en fonction du *rapport* c des moyennes pluviométriques.

Malgré la grande dispersion résiduelle des valeurs observées du coefficient de corrélation autour des valeurs fournies par ces formules, l'opération effectuée était la seule qui permettait d'estimer un coefficient de corrélation quand les deux stations ne présentent aucune observation simultanée.

Si la période d'observation simultanée NC est inférieure ou égale à trois ans, le coefficient de corrélation déduit éventuellement de ces données n'a pas de signification.

Si elle est supérieure à 3 ans mais inférieure à 8 ans, le calcul de l'écart-type de la transformée de FISHER :

$$z' = \frac{1}{2} \text{Log} \left(\frac{1+r}{1-r} \right)$$

est possible, puisque celui-ci a pour expression :

$$\sigma_{z'} = \frac{1}{\sqrt{N-3}}$$

mais la valeur de cet écart-type est toujours très élevée et ne permet pratiquement jamais de dire que le coefficient de corrélation est significativement positif.

Nous avons décidé de substituer aux valeurs non significatives, les valeurs estimées à partir des formules définies plus haut, en fonction de d et de c . Donc, lorsque NC est inférieure à 8, par convention, nous faisons cette substitution.

Quand NC prend l'une des valeurs de 8 à 14 ans, la méthode des transformées de FISHER permet de définir un intervalle de confiance à p %.

Nous pouvons admettre alors que, si la méthode « géographique » d'estimation du coefficient de corrélation fournit une valeur située à l'extérieur de cet intervalle, cette méthode « géographique » est préférable.

Cependant le seuil de probabilité p % à choisir doit dépendre de la dispersion résiduelle observée lors de l'établissement des formules de la méthode « géographique » d'estimation.

Nous avons essayé trois valeurs de p :

$$50 \%, 80 \% \text{ et } 90 \%$$

Le choix définitif pouvait être décidé grâce à un test comparant la dispersion résiduelle que nous évoquons ci-dessus, pour deux ensembles distincts de coefficients de corrélation :

— ceux qui correspondent à des valeurs NC ≥ 15 ans (en pareil cas, la méthode « géographique » d'estimation n'a jamais été retenue);

— ceux qui correspondent à des valeurs NC :

$$8 \geq NC \geq 14,$$

et pour lesquels la méthode « géographique » d'estimation n'a pas été retenue.

Les calculs ont été effectués automatiquement grâce à un programme qui fournit, pour caractériser la dispersion résiduelle dans chacun de ces ensembles, la valeur de l'écart absolu moyen.

Il se trouve que c'est avec le seuil de 80 % que l'on obtient la plus faible différence entre les écarts absolus moyens caractéristiques des deux ensembles.

Finalement, le choix entre la valeur CR du coefficient de corrélation déduite des observations simultanées, et la valeur CREG fournie par la méthode « géographique », est le suivant :

NC < 8	CREG ;
8 ≤ NC ≤ 14	}
		CR dans le cas contraire ;
NC ≥ 15	CR.

Donnons pour terminer la forme générale des relations retenues pour le calcul des valeurs CREG (branches d'hyperboles) :

$$r_1 = a_1 d + a_2 + s_1 \sqrt{a_3 d^2 + a_4 d + a_5};$$

$$r_2 = b_1 c + b_2 + s_2 \sqrt{b_3 c^2 + b_4 c + b_5};$$

$$r = r_1 + r_2 = \text{CREG.}$$

VII. — COMPTABILISATION DES STATIONS PRIMAIRES DANS UN NOUVEAU CAS PARTICULIER D'EXPLOITATION DU RÉSEAU

Cette phase de notre étude correspond à la mise en œuvre de la méthode décrite au paragraphe 3.1.2.

7.1. — Objectif du programme POH 115.

Ce programme est présenté dans l'annexe IV.

Les considérations théoriques du paragraphe 6.1., ont montré que l'on pourrait en principe déterminer un certain nombre d'emplacements de « nouvelles stations primaires », en des points où se trouve déjà ou non une station.

Cependant, cette détermination est d'autant plus laborieuse que les courbes « iso - k » définies dans ce paragraphe doivent être remplacées par des bandes plus larges, du fait de la dispersion résiduelle des liaisons de r et d . En pratique, avec la grande dispersion que nous avons trouvée, le problème ne peut être abordé de cette manière, et d'ailleurs il dépasserait le cadre classique de la rationalisation puisque celle-ci, tout comme la « planification », ne prévoit jamais, en même temps qu'elle envisage une station à créer, si celle-ci sera ou non primaire.

Nous sommes alors obligés de considérer comme seuls emplacements possibles des « nouvelles stations primaires », des stations existantes.

Le programme POH 115 permet de considérer successivement les 36 combinaisons des 9 valeurs de a^2 (« fonction précision-risque » définie aux paragraphes 2.2.a et 5.1.1.) et de 4 valeurs $k_0 = 30, 40, 60$ et 100 ans.

A chacune de ces combinaisons, correspond une solution optimale au problème du choix des « nouvelles stations primaires ».

Nous avons cherché le moyen d'approcher cet optimum, qui ne pourrait d'ailleurs être atteint de manière rigoureuse qu'au prix d'opérations très laborieuses.

a) Première approximation.

Nous appellerons *liaison d'une station A vers une station B* (ou *d'une station B par une station A*), le fait que dans l'hypothèse où a^2 et k_0 ont des valeurs déterminées, l'extension de la série d'observations en B, tenant compte de la série d'observations en A, nécessite un nombre d'années d'observations en B :

$$k \leq k_0.$$

Le traitement automatique choisi consiste à faire le dénombrement des n_{L_1} « liaisons de A vers B », pour chaque station non « primaire initiale » considérée successivement comme la station A, les stations B étant seulement celles qui ne sont pas « liées par » une des « primaires initiales ».

La station A_1 présentant le nombre n_{L_1} le plus fort est choisie comme première « nouvelle primaire », qu'elle soit ou non elle-même « liée par » une des « primaires initiales ».

Les stations B considérées dans l'opération de choix de la deuxième « nouvelle primaire » A_2 ne sont plus alors que les stations non « liées par » une des « primaires initiales » ni par A_1 : compte tenu de ceci, de nouveaux nombres n_L , soit n_{L_2} , sont calculés pour toutes les stations non « primaires initiales » sauf A_1 , et la station A_2 présentant le nombre n_{L_2} le plus fort est choisie.

Un tel mécanisme est reproduit autant de fois que c'est nécessaire pour arriver à régler le sort de l'ensemble des stations non « primaires initiales » ; chaque fois que le mécanisme est reproduit, les stations B prises en considération sont moins nombreuses.

Le mécanisme tel qu'il est décrit est donc remis en marche à la fin de chaque série d'opérations au cours de laquelle il a mis en évidence un nombre NSQL, supérieur ou égal à 2, de stations A « liées » un certain nombre de fois « vers » des stations B : en effet, à la limite avec NSQL = 2, l'une des deux stations A sera retenue comme « nouvelle primaire » et il faudra ensuite vérifier si l'autre est encore « liée vers » des stations B, (voir la remarque suivante).

Lorsque le nombre NSQL est devenu inférieur à 2, on est arrivé à la dernière phase de sélection et les dernières « nouvelles primaires » sont :

- soit, si NSQL = 1, l'unique station A_u comptabilisée par ce « compteur » NSQL, ainsi que toutes les stations B non « liées par » A_u ;
- soit, si NSQL = 0, l'ensemble des stations B.

Remarque.

L'existence de cette alternative dans la dernière phase justifie bien que le mécanisme de sélection ait dû être remis en marche à la suite de la sélection de la plus liée de deux stations ; a fortiori, quand NSQL = 3, 4, ou davantage, on voit qu'il y a encore plusieurs phases de sélection à effectuer.

b) *Recherche plus précise de la solution optimale.*

Le mécanisme sélectionnant de proche en proche les « nouvelles primaires » d'après leur nombre de « liaisons » n'est pas rigoureusement celui qui doit conduire au choix du nombre minimal de « nouvelles primaires ».

En effet, lors des premières phases de la sélection, on ne tient pas compte de la dispersion dans l'espace plus ou moins grande des stations dont le sort n'est pas encore décidé : parmi ces dernières, il faudra d'autant plus de « nouvelles primaires » que leur dispersion est grande, car la variable k croît avec la distance (bien que cette liaison soit, on l'a vu, assez faible).

Première tentative.

Nous avons d'abord pensé que l'optimisation pouvait être mieux approchée grâce à l'artifice suivant :

En raisonnant comme si la liaison entre k et la distance jouait un rôle dans l'orientation de la sélection, le choix comme première « nouvelle primaire » d'une station située vers le centre de la région étudiée est assez probable puisque là, les « liaisons » peuvent apparaître vers des stations B dans toutes les directions. Mais alors la dispersion des stations du nouveau lot B sera grande, puisque y entrèrent surtout des stations périphériques.

Il suffisait peut-être, pour approcher l'optimum désiré, de tester plusieurs coefficients de réduction c_r du « nombre de liaisons » n_L . Nous avons essayé pour c_r une fonction linéaire des « nombres de liaisons » v_L , cumulés pour l'ensemble des stations B « liées par » A :

$$n_L \text{ était alors remplacé par } \frac{n_L}{c_r} = \frac{n_L}{1 + \alpha \sum_1^{n_L} v_L}$$

Avec l'une des valeurs essayées pour α , nous espérons obtenir un nombre minimal de « nouvelles primaires ».

Cette nouvelle méthode a dû être abandonnée car pour les quelques valeurs de α essayées (comprises entre 0,01 et 0,30) les listes de « nouvelles primaires » correspondant à un même couple (a^2, k_0) étaient trop souvent identiques.

Deuxième tentative.

Le raisonnement que nous avons fait pour introduire l'exposé de la première tentative, peut être repris ici.

Nous avons essayé ici d'effectuer la sélection d'une manière un peu différente : chaque fois qu'ayant déterminé les « nombres de liaisons » n_L , on s'apprête à choisir une « nouvelle primaire », on va choisir non pas celle qui présente le plus grand n_L , mais la i ème station classée dans l'ordre des n_L décroissants.

Nous avons ainsi défini 4 méthodes de « sélection », numérotées de 1 à 4 pour $i = 1$ à 4.

Si la sélection est effectuée avec chacune de ces 4 méthodes, elle donne des résultats différents, le plus faible nombre de « nouvelles primaires » étant obtenu en général par la méthode n° 1, mais pas toujours.

Ceci nous autorise à compliquer la logique du programme pour que la sélection soit effectuée successivement avec les 4 méthodes.

On a donc en tout $4 \times 9 \times 4 = 144$ combinaisons de paramètres régissant les conditions de la sélection.

7.2. — Mode d'introduction des données dans le programme POH 115.

L'ordre de l'introduction est le suivant :

7.2.1. - Précision et risque de non-satisfaction de cette précision.

Les neuf valeurs du paramètre α^2 (appelé FONPR en Fortran), sont introduites, comme dans le programme précédent, par une carte perforée dans le format 9F8.6.

7.2.2. - Seuils adoptés pour la durée d'observation.

Les quatre valeurs du seuil k_o (appelé KS en Fortran), sont introduites par une carte perforée dans le format 4I5.

7.2.3. - Durées d'observation nécessaires en chacune des stations distinctes des « primaires initiales », et coefficient de variation.

Précisons, en prenant l'exemple d'une région où l'on a 4 stations « primaires initiales » et 35 autres stations (susceptibles de devenir primaires), que les données seront introduites par 35 cartes perforées où entrent :

- le numéro de la station ;
- les neuf valeurs du nombre d'années d'observations nécessaires pour que Y soit connu (avec la précision désirée et le risque accepté dans chacun des neuf cas envisagés), l'extension étant effectuée grâce à celle des 4 « primaires initiales » permettant que cette durée soit minimale (résultats fournis par le programme POH 114) ;
- le coefficient de variation de Y à la station considérée (nous avons choisi le coefficient calculé d'après la série d'observations directes).

Le lot des 35 cartes décrites ci-dessus doit être suivi d'une carte blanche.

7.2.4. - Coefficients de corrélation entre séries directement observées, pour tous les couples de stations susceptibles de devenir primaires.

Les coefficients à introduire sont appelés CR (I, J) en Fortran. Si l'on prend toujours l'exemple numérique, ils doivent être perforés dans l'ordre suivant (dans des cartes de format 13F6.3) :

- une série des 34 coefficients CR (I, J), (il faut évidemment utiliser 2 cartes entièrement perforées et une troisième où figureront seulement les 8 derniers coefficients, dans les colonnes 1 à 48, et aucun des coefficients CR (2, J)) ;

- série des 33 coefficients CR (2, J), etc. ;
- série des 26 coefficients CR (9, J), (il suffit ici d'utiliser 2 cartes entièrement perforées, mais la lecture correcte des cartes, compte tenu des instructions du programme, exige la présence d'une carte blanche pour que soit lue au moins une valeur nulle de CR avant d'aborder la série CR [9 + 1, J] et les suivantes), etc. ;
- les coefficients CR (33, 34) et CR (33, 35), (avant-dernière carte) ;
- le coefficient CR (34, 35), (dernière carte).

Remarque.

Les coefficients de corrélation utilisés sont ceux qui ont été calculés par le premier programme POH 113 sauf quand on a préféré retenir le résultat de la méthode géographique d'estimation (voir la description des opérations annexes qui conduisent à ce choix, paragraphe 6.2.).

7.3. — Opérations effectuées par le programme POH 115.

7.3.1. - *Calcul des durées d'observation nécessaires à chaque station pour que Y soit connu à cette station (en satisfaisant aux conditions exprimées par a^2) quand l'extension est effectuée à partir de chacune des autres stations.*

Les résultats sont imprimés dans un format où apparaissent alternativement :

- une ligne définissant le couple de stations ;
- une ligne où figurent les neuf valeurs de la durée KA calculées pour chacune des valeurs de a^2 .

Remarque.

Contrairement au coefficient de corrélation CR, dont la définition ne dépend pas de l'ordre des stations couplées (en effet : CR (I, J) = CR (J, I), ce qui a permis d'introduire les données sous la forme décrite ci-dessus), les durées KA sont caractérisées par : KA (I, J) \neq KA (J, I) ; dans l'exemple numérique envisagé, les résultats de cette phase de calcul comportent donc :

$$35 \times 34 = 1\ 190 \text{ séries de 9 valeurs de KA.}$$

7.3.2. - *Détermination des lots de stations devant devenir primaires, pour que Y soit connu à toutes les stations en satisfaisant aux conditions exprimées par a^2 , sans que la durée d'observation n'ait à excéder k_0 .*

Les opérations sont effectuées dans l'ordre imposé par trois boucles imbriquées :

- une boucle où le compteur JK, variant de 1 à 4, permet successivement le choix des 4 valeurs de k_0 introduites dans le vecteur KS (comme cela a été dit plus haut, nous avons choisi 30 ans, 40 ans, 60 ans et 100 ans) ;
- à l'intérieur de cette boucle, une seconde où le compteur JF, variant de 1 à 9, permet successivement le choix des 9 valeurs de a^2 ;
- à l'intérieur de ces boucles, une troisième où le compteur MVAR, variant de 1 à 4, permet successivement le choix des 4 méthodes de sélection décrites plus haut (paragraphe 7.1. b), deuxième tentative).

L'impression des résultats étant effectuée au fur et à mesure de ces calculs (chaque fois qu'un lot de « nouvelles stations primaires » est déterminé) la présentation de ces résultats obéit à l'ordre qui découle immédiatement de la « logique » ci-dessus.

VIII. — EXPLOITATION DES RÉSULTATS

L'exploitation des résultats fournis par les programmes POH 114 et POH 115 a été entreprise dans l'optique de la recherche d'une situation optimale au bout d'un délai donné pour un coût fixé à l'avance (coût d'un réseau comportant un nombre invariable, fixé à l'avance, de stations en exploitation).

C'est le modèle d'exploitation décrit au paragraphe 3.2.2.

Nous avons commencé l'exploitation comme si nous devions la mener à bien par la méthode indiquée au paragraphe 3.2.3.1. : les opérations des deux premières étapes ont été réalisées, mais nous ne pouvions aborder la troisième étape avec une méthode adéquate.

8.1. — Choix des stations « primaires initiales » (et première justification de ce choix).

En prenant l'exemple, déjà évoqué à diverses reprises, d'une partie du réseau pluviométrique d'Alsace (étudiée séparément du reste du réseau), nous considérons 39 stations réparties sur environ 5 480 km², superficie définie par un contour stylisé (ce contour s'écarte plus ou moins de chacune des stations périphériques, d'autant plus que la densité du réseau est plus faible aux alentours de cette station).

Nous avons choisi a priori quatre stations « primaires initiales ».

Les résultats fournis par le programme POH 114, sous la forme décrite au paragraphe 5.2.3., permettent de vérifier que, si le lot de quatre stations « primaires initiales » est conservé en entier, les stations secondaires peuvent être classées en quatre ensembles d'effectifs peu différents, au sein de chacun desquels l'extension la plus rapide est obtenue pour toutes les stations grâce à la même primaire initiale. Il apparaît ainsi quatre zones géographiques centrées sur les stations « primaires initiales », se recouvrant en partie mais de superficies voisines, et qui sont définies par les quatre ensembles de stations secondaires : c'est un résultat montrant que la répartition géographique des quatre stations « primaires initiales » était judicieusement choisie.

8.2. — Recherche d'un optimum pour le nombre de stations primaires supposées avoir déjà été observées pendant une durée illimitée (et deuxième justification du choix des « primaires initiales »).

Nous nous sommes fixé un délai de 200 ans et avons supposé :

- que les stations « primaires initiales » et « nouvelles primaires » avaient déjà été observées pendant une durée illimitée avant la fin de ce délai ;
- que les observations aux autres stations (secondaires) ont commencé toutes à la même date 0.

Entre les dates 0 et 200, chaque station secondaire peut occuper divers emplacements successifs, d'autant plus nombreux qu'il y a davantage de stations primaires, puisqu'il y a alors davantage de choix entre celles-ci pour obtenir l'extension la plus rapide des données de chaque secondaire.

Le programme POH 115 fournit la composition de 144 lots de « nouvelles stations primaires », sous la forme indiquée au paragraphe 7.3.2.

Il n'était pas prohibitif de faire manuellement un certain nombre d'opérations concernant quelques lots de stations primaires convenablement choisis :

a) Détermination, d'après les résultats du programme POH 114 (fournis sous la forme indiquée au paragraphe 5.2.3.) et ceux du programme POH 115 (fournis sous la forme indiquée au

paragraphe 7.3.1.), de la station primaire permettant l'extension la plus rapide de chacune des secondaires.

b) Calcul du nombre possible d'emplacements pour chacune des secondaires pendant la période de 200 ans considérée (avec le choix d'une seule valeur 0,000417 pour a^2 , à titre d'exemple).

c) Calcul du nombre total possible n_e d'emplacements de mesures dans le réseau pendant ces 200 ans (en comptant un emplacement par station primaire).

d) Comparaison des nombres n_e obtenus à partir de lots d'un même effectif N_p de stations primaires : nous avons sélectionné le nombre N_e le plus grand, et l'avons considéré comme une fonction de N_p .

e) Tracé du graphique de la figure 1 représentant les variations de N_e en fonction de N_p .

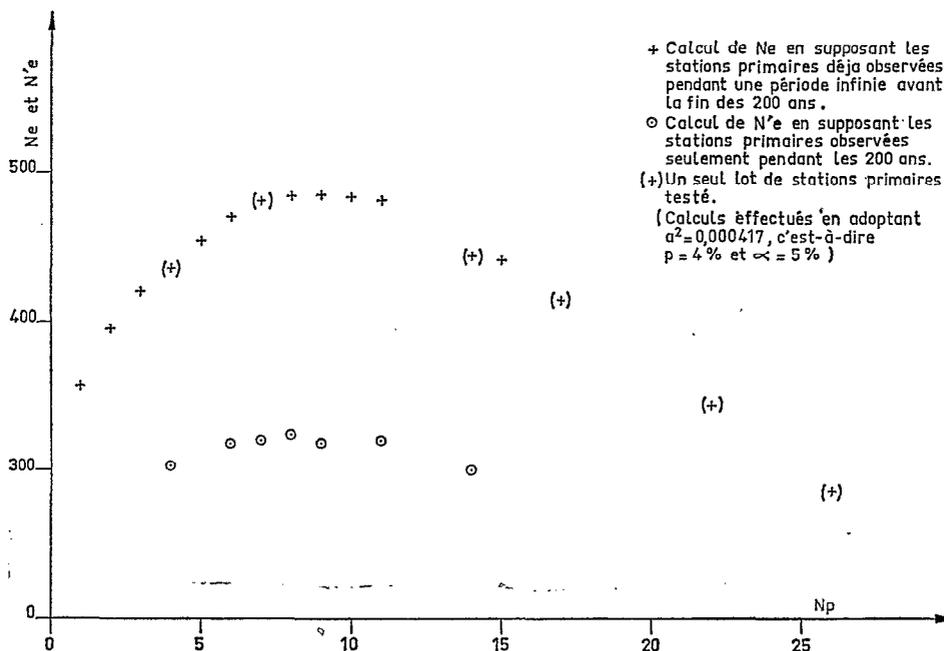


FIG. 1. — Nombre possible d'emplacements de mesure en une période de 200 ans, si le réseau comporte N_p stations primaires.

Interprétation du graphique de la figure 1.

Notons d'abord que les nombres N_e correspondent à des lots de stations primaires sélectionnés parmi 2 à 5 lots, sauf dans quelques cas où nous n'avons pu disposer que d'un seul lot d'effectif N_p .

Le procédé de sélection a toujours désigné, et c'était prévisible, un des lots d'effectif minimal (tels qu'ils sont définis par l'exposé de la « deuxième tentative » paragraphe 7.1. b) parmi 4 lots déterminés par le programme POH 115 pour une même valeur de a^2 et une même valeur de k_0 .

La forme de la liaison entre N_p et N_e se caractérise par l'existence d'un maximum de N_e , obtenu approximativement tout au long d'un palier, pour des valeurs de N_p comprises entre 6 et 12.

Ce dernier résultat est d'autant plus sûr que la liaison paraît plus régulière entre N_p et N_e , malgré la dualité que nous avons admise dans les méthodes de sélection des lots de stations primaires : en effet, si la sélection d'après les nombres n_e est appliquée uniformément quel que

soit N_p , elle intervient seulement pour parfaire une première sélection qui, elle, ne reposait que sur une appréciation qualitative pour ce qui concerne les « primaires initiales » ($N_p \leq 4$) ou bien était fournie par un mécanisme plus élaboré pour ce qui concerne les « nouvelles primaires ».

Remarques.

a) Deuxième justification du choix des 4 stations « primaires initiales » : ce choix n'est certainement pas mauvais puisque la courbe de variation de N_e en fonction de N_p ne présente pratiquement pas de points d'inflexion dans sa branche ascendante aux alentours de $N_p = 4$ (dans un cas extrême de très mauvais choix, cette branche présenterait deux tronçons distincts reliés par un segment de très forte pente entre $N_p = 4$ et 5).

b) Nous avons vérifié que l'existence d'un maximum pour le nombre N_e n'est pas remise en question dans un cas réel où les stations primaires ne sont observées que pendant des durées limitées.

Pour cela nous avons préparé des abaques permettant l'application rapide des formules indiquées au paragraphe 2.2. a.

Après quoi nous avons corrigé les quelques valeurs de N_e voisines du maximum trouvé, en supposant que les stations primaires étaient observées seulement à partir de la date 0 (donc pendant 200 ans). Le calcul de l'efficacité a été effectué avec la formule complète donnée au paragraphe 2.2. a pour n fini. Cela nous a conduits aux nombres d'emplacements N'_e , qui sont environ les 2/3 des nombres N_e trouvés avec les mêmes lots de stations primaires : autrement dit, le maximum de N'_e existe et se place dans la même gamme des valeurs de N_p que le maximum de N_e .

c) Les paliers des courbes de variation de N_e et N'_e sont assez étendus pour que le choix du lot optimal de stations primaires bénéficie quasiment d'un degré de liberté supplémentaire : ceci permet de tenir compte des durées réelles d'observation des stations des divers lots, et, si besoin est, de faire intervenir des impératifs de gestion ou des contraintes locales.

8.3. — Recherche d'une orientation immédiate du développement du réseau.

La méthode de rationalisation en deux phases que nous proposons plus haut (paragraphe 3.2.3.2.) a été appliquée, semble-t-il avec succès.

8.3.1. - *Traitement automatique.*

Un programme, dont la présentation détaillée était sans doute superflue, a permis de sélectionner les stations qui peuvent être fermées dès la date 0 de mise en application des consignes de rationalisation, compte tenu de l'inventaire de l'information acquise. Rappelons que chacune des stations sélectionnées remplit les trois conditions énoncées à la fin du paragraphe 3.2.3.2.

Cette sélection a été effectuée 50 fois, 50 étant le nombre de combinaisons obtenues en faisant 5 hypothèses de délais différents pour la première phase de développement (date J' dans 20, 30, 40 ou 50 ans), et 10 hypothèses de seuils f_0 différents pour la fonction « précision-risque » α^2 (hypothèses de faible exigence allant de [$p = 3\%$, $\alpha = 5\%$] à [$p = 5\%$, $\alpha = 20\%$]).

8.3.2.- *Choix parmi les divers plans de fermeture de stations.*

L'homogénéisation maximale de la connaissance de la grandeur mesurée (parmi les stations susceptibles d'être sélectionnées à la date J' comme primaires) doit vraisemblablement être obtenue en fermant à la date 0 à peu près autant de stations (soit N_1) qu'il y aura de stations laissées ouvertes pour que le seuil f_0 de $f(p, \alpha)$ y soit atteint à la date J' (soit N_2).

Mais en pratique, on devra surtout rechercher pour la date J' une homogénéisation de la connaissance des stations non sélectionnées une ou plusieurs fois dans les lots de 2 à 8 « nouvelles primaires » par le programme POH 115 car les stations ainsi sélectionnées le seront assez probablement à nouveau (au moins certaines d'entre elles) par les opérations prévues pour la date J'

(remise en œuvre du programme POH 115) : ces dernières stations devront donc rester ouvertes au même titre que les 4 « primaires initiales », avec lesquelles elles peuvent constituer des lots de 6 à 12 stations primaires, et l'on préparera ainsi une deuxième phase de développement rationalisé plus satisfaisante (de J' à J) surtout si J n'est pas une date très lointaine.

Cette dernière considération conduira sans doute à choisir un des plans de développement proposant la *fermeture immédiate d'environ 15 stations* sur 39, avec transfert de leur équipement en des points où la densité du réseau est plus faible.

Nous pouvons maintenant faire remarquer que ce qui était appelé théoriquement, plus haut, « fermeture d'une station » peut n'être que la consécration d'un état de fait : en un tel cas, si l'on décide de créer quand même un nouvel emplacement de mesure à la date 0, cela signifie que l'on accepte de faire un certain investissement. Cependant, le but principal du plan de développement rationalisé de 0 à J' n'étant pas la création de nouveaux emplacements, on pourra toujours prendre une décision utilisant les résultats des opérations décrites au paragraphe 8.3.1., et n'obligeant pas pour autant à augmenter le nombre réel des équipements en service à la date 0.

Par ailleurs, on peut vouloir tenir compte du fait qu'environ 30% des stations devant être observées jusqu'à la date J' sont des stations « à remettre en exploitation » après une longue interruption. Il faut alors envisager le risque suivant, si les nouvelles séries observées accusent une certaine hétérogénéité avec les anciennes : gain d'information moins grand que ce qu'on pouvait escompter entre les dates 0 et J'. Le remède sera peut-être de fermer un peu moins de 15 stations.

8.4. — Récapitulation des résultats.

Si l'on veut bien prendre toujours l'exemple déjà évoqué (une partie du réseau pluviométrique de l'Alsace), indiquons tout d'abord quelle est la composition du réseau de stations existant à la date 0 ou ayant existé avant.

8.4.1. - *Etat initial de développement du réseau.*

Parallèlement à la description faite au paragraphe 1.3.2., on peut signaler un total de 82 stations, dont il ne reste que 39 après en avoir retiré pour l'étude de rationalisation :

- 17 stations où les observations ne sont complètes qu'en été ;
- 20 stations observées moins de 8 années, dont l'étude statistique peut être jugée impossible ;
- 6 stations observées seulement un peu plus de 8 années, ces observations étant antérieures à 1936 (ce qui peut faire craindre que la remise en exploitation éventuelle ne soit pas possible dans les mêmes conditions exactes d'environnement).

8.4.2. - *Nombre optimal de stations primaires.*

C'est avec 6 à 12 stations primaires que l'on obtiendra après un long délai une information de qualité donnée en un plus grand nombre d'emplacements de stations secondaires, si l'on déplace celles-ci (de telle sorte que les possibilités d'extension des séries qu'on y observe restent les mêmes après déplacement), dès que la qualité de l'information y est atteinte.

8.4.3. - *Décisions à prendre pour une première étape de développement rationalisé.*

Nous avons vu au paragraphe 8.3.2., qu'il était judicieux de considérer que parmi les 39 stations utilisées dans l'étude de rationalisation, environ 15 devaient être fermées pendant une première étape, car cela permettra pendant cette étape, de rattraper en 15 autres stations environ le niveau minimal de qualité de l'information disponible aujourd'hui aux stations à fermer.

Le sort de chaque station peut être décidé en adoptant une des listes fournies par le dernier programme de calcul automatique. Il existe par exemple une liste de 18 stations à fermer ; il faut remarquer que sur ces 18 stations, 4 sont des stations généralement sélectionnées par le programme POH 115 dans les lots de 2 à 8 « nouvelles primaires » (lots correspondant, avec les 4 « primaires

initiales », à 6 à 12 primaires) ; on ne devrait donc conserver fermées, pendant la première étape considérée, que 14 des 18 stations de la liste ; compte tenu de l'inventaire des stations déjà fermées avant le début de l'étape, on aurait :

- 9 stations à réouvrir (dont 7 après une longue interruption, et dont 4 ont par ailleurs de fortes chances de devenir définitivement primaires) ;
- 16 stations à maintenir ouvertes (dont les 4 stations « primaires initiales » qui resteront presque sûrement primaires, et 4 stations ayant de fortes chances de le devenir) ;
- 3 stations à fermer ;
- 11 stations à maintenir fermées.

Remarque.

La liste prise en exemple a été déterminée dans le cas d'une durée d'étape de 30 ans, le seuil de « précision-risque » étant $a^2 = 0,000772$ ($p = 4\%$, $\alpha = 15\%$). Cette liste pourrait être différente si l'on voulait adopter une durée d'étape de 20 ans, et il faudrait pour s'en assurer faire un nouveau traitement automatique des données par le dernier programme cité, en demandant quelques listes de stations à fermer dans l'hypothèse « 20 ans », chaque liste correspondant à une valeur de a^2 (on sait seulement que l'opération devrait être faite pour quelques valeurs de a^2 comprises entre 0,000772 et 0,000924).

IX. — CONCLUSION

Nos réflexions sur les problèmes posés par la rationalisation d'un réseau de mesures physico-climatiques ont pu être résumées sur un graphe situé en annexe. Elles sont étayées par quelques résultats concrets : un modèle de rationalisation, pour un délai fixé et un coût global fixé, paraît donner satisfaction dans le cas d'un réseau pluviométrique rationalisé pour la hauteur moyenne annuelle des précipitations ponctuelles \bar{P} .

Le développement du réseau est orienté grâce aux opérations effectuées, de telle manière que soit maximisé le nombre des emplacements où un intervalle de confiance de \bar{P} sera inférieur à un certain seuil.

Si l'on considère une catégorie de réseau tout à fait différente, celle des *réseaux hydrométriques*, on se heurte à des difficultés plus grandes :

a) Le choix de la variate pour laquelle on doit rationaliser n'est pas en général évident. Par exemple, les trois variates « module », « débit de crue » et « débit d'étiage » présentent chacune un intérêt pratique important et chacune peut dans certains cas être préférée aux deux autres.

b) Dans le cas où il paraît judicieux de s'intéresser à deux variates, on peut être obligé de faire deux études distinctes de rationalisation, quitte à prendre les décisions qui sont imposées par les conclusions les plus exigeantes.

c) Sur le terrain mathématique, des approximations seront nécessaires en général, car même dans le cas où la variate choisie sera une moyenne, elle risque fort d'être définie à partir d'une variate-temps non gaussique (cas assez fréquent pour les modules, cas général pour les étiages...). Quel que soit l'objet de l'optimisation recherchée, celle-ci risque d'être moins parfaite.

d) Enfin, les méthodes à mettre au point devront tenir compte de deux caractères de la grandeur physique « débit » :

- cette grandeur ne peut être définie qu'en certains points privilégiés de l'espace (le long du réseau hydrographique) et elle présente des variations discontinues (à chaque confluent) ;
- ses variations concomitantes en deux points peuvent être liées de deux manières différentes par le fait que le débit est représentatif d'une surface (liaison entre débits de bassins imbriqués, ou entre débits de bassins adjacents ou éloignés).

Malgré ces difficultés, la rationalisation d'un réseau hydrométrique est un problème que nous nous proposons d'aborder en 1970 au Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.

BIBLIOGRAPHIE

ROCHE (M.). — 1967. — « Composition et rationalisation des réseaux hydrométéorologiques. » Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Hydrologie, vol. IV, n° 3, pp. 47-60.

DUBREUIL (P.). — 1969. — « Étude de l'extension rationnelle du réseau hydrométrique du Ministère de l'Agriculture. » Ministère de l'Agriculture, Service de l'Hydraulique, O.R.S.T.O.M., Paris.

ANNEXE II - POH 113

```

C PROGRAMME SPECIAL ETUDE ALSACE
C CORRELATIONS INTERPOSTES DES PLUIES ANNUELLES
C EXTENSION DES DONNEES
  INTEGER ALTI(50),PRIM(150)
  DIMENSION NSTA(50),FRAG(50,6),ITOTA(99),ITOTAI(50,99),JUN(99),XLANH
  (50),YLANH(50),N(50),MOY(50),VAR(50),ET(50),DT(50,50),NCT(50,50),
  ZCRT(50,50),VARCXT(50,50),VARYCT(50,50),XMOYCT(50,50),YMOYCT(50,50)
  J,ETCXT(50,50),ETCCT(50,50),COV(50)
  1 FORHAT(15),16,64,17,18,19,5X,11)
2000 FORHAT(15,10(13),14))
3500 FORHAT(/// 2X,'STATION X NUMERO',I6,6X,644)
3600 FORHAT(//3X,'MOYENNE DE X',T30,F12.0,7X,'MM/3X','VARIANCE DE X',T
  130,F12.0,7X,'MM2/3X','EGART TYPE DE X',T30,F13.1,6X,'MM/3X','COEFF
  ZIENCI) DE VARIATION DE X',T40,F5.3/3X,'NOMBRE D ANNEES D OBSERVAT
  3IONS',T40,13))
  44 FORHAT(///72X,'STATION 1 (VARIABLE X) NUMERO',I6,6X,644/2X,'ALTI
  TUDE STATION 1',T30,I4,6X,'H//72X,'STATION 2 (VARIABLE Y) NUMERO',
  216,6X,644/2X,'ALTITUDE STATION 2',T30,I4,6X,'H//)
  55 FORHAT(3X,'DISTANCE ENTRE LES STATIONS',4X,F7.0,8X,'KM//3X,'MOYEN
  INC DE X',T30,F12.0,8X,'MM/3X','VARIANCE DE X',T30,F12.0,7X,'MM2/3
  2X,'EGART TYPE DE X',T30,F13.1,7X,'MM//3X,'MOYENNE DE Y',T30,F12.0
  3,8X,'MM/3X','VARIANCE DE Y',T30,F12.0,7X,'MM2/3X,'EGART TYPE DE Y
  4',T30,F13.1,7X,'MM//3X','COEFFICIENT DE CORRELATION',F10.3//3X,'CA
  5LUCLES A PARTIR DES',13,1X,'ANNEES D OBSERVATIONS COMMUNES')
  60 FORHAT(///3X,'MOYENNE ETENDUE DE Y',T30,F12.0,6X,'MM/3X','VARIANCE
  1 ETENDUE DE Y',T30,F12.0,7X,'MM2/3X,'EGART TYPE ETENDU DE Y',T30,
  2F13.1,7X,'MM/3X','COEFF.VAR.ETENDU DE Y',T30,F5.3)
  DO 96 K=1,50
  DO 96 JAN=1,99
  96 ITOTA(K,JAN)=0
  K=0
  99 K=K+1
  98 READ(5,1)NSTA(K),(FRAG(K,JS),JS=1,6),LATI,LONGI,ALTI(K),PRIMI(K)
  NST=NSTA(K)
  IF(NST)1000,120,100
  100 WRITE(6,5000)NSTA(K),(FRAG(K,JS),JS=1,6)
  XLANH(K)=LONGI
  YLANH(K)=LATI
  DO 97 J=1,99
  97 ITOTO(J)=0
  DO 95 J=1,99
  95 JUN(J)=0
  J=1
  1100 READ(9,2000)IOSTA,IJON(I),ITOTO(I),I=J,J)
  IF(IOSTA)1000,1000,1200
  1200 WRITE(6,5000)IOSTA,(JUN(I),ITOTO(I),I=J,J)
  6000 FORHAT(//1X,15,10(13),14,1X)
  J=J+1
  J1=J+9
  GO TO 1100
  1000 H=JUN(I)-890
  MA=JUN(I)
  I=1
  N=0
  SX=0
  SX2=0
  DO 3000 JAN=H,75
  IF(JUN(I)-MA)210,700,210
  700 ITOTA(K,JAN)=ITOTO(I)
  I=I+1
  MA=MA+1
  GO TO 4000
  210 ITOTA(K,JAN)=0
  MA=MA+1
  4000 X=ITOTA(K,JAN)
  IF(X)3000,3000,130
  130 NA=NA+1
  SX=SX+X
  SX2=SX2+X*X
  3000 CONTINUE
  XN=NA
  XMOY=SX/XN
  VARX=(XN*SX2-SX*SX)/(XN*(XN-1))
  ETX=SQRT(VARX)
  COVAX=ETX/XMOY
  MOY(K)=XMOY
  VAR(K)=VARX
  ET(K)=ETX
  COV(K)=COVAX
  N(K)=N
  WRITE(6,3600)XMOY,VARX,ETX,COVAX,NA
  IF(PRIMI(K))1007,99,1007
  1007 WRITE(7,1008)NSTA(K),MA,COVAX
  1008 FORHAT(2X,'SY PRIM NUMERO',5X,I3,10X,'OBSERVEE',14,1X,'ANS',10X,'C
  1V',F5.3)
  GO TO 99
  120 K=K-1
  DO 350 I=1,K
  XLANH1=XLANH(I)
  YLANH1=YLANH(I)
  DO 350 J=1,K
  IF(J-1)5001,350,5002
  5002 XLANH2=XLANH(J)
  YLANH2=YLANH(J)
  D=0.2*SQRT((XLANH2-XLANH1)**2+(YLANH2-YLANH1)**2)
  WRITE(6,44)NSTA(I),(FRAG(I,JS),JS=1,6),ALTI(I),NSTA(J),(FRAG(J,JS
  1),JS=1,6),ALTI(J)
  NC=0
  SX=0
  SX2=0
  SV=0
  SV2=0
  DO 300 JAN=1,75
  X=ITOTA(I,JAN)
  Y=ITOTA(J,JAN)
  IF(X)1500,300,145
  145 NC=NC+1
  SX=X+X*X
  SY=Y+Y*Y
  SX2=SX2+X*X
  SY2=SY2+Y*Y
  300 CONTINUE
  XNC=NC
  IF(XNC-2,1)352,352,351
  352 DT(I,J)=0
  NCT(I,J)=NC
  CRT(I,J)=0
  WRITE(6,56)D,NC
  56 FORHAT(3X,'DISTANCE ENTRE LES STATIONS',4X,F7.0//3X,'PAS D EXTENS
  ION',13,'ANNEES D OBSERVATIONS COMMUNES')
  GO TO 350
  351 CR=(XNC*SXY-SX*SY)/SQRT((XNC*SX2-SX*SX)*(XNC*SY2-SY*SY))
  XMOYC=SX/XNC
  YMOYC=SY/YNC
  ETCX=SQRT(VARX)
  ETCY=SQRT(VARCY)
  DT(I,J)=0
  NCT(I,J)=NC
  CRT(I,J)=CR
  VARCXT(I,J)=VARCX
  VARYCT(I,J)=VARYCY
  XMOYCT(I,J)=XMOYCY
  YMOYCT(I,J)=YMOYCY
  ETCXT(I,J)=ETCX
  ETCYT(I,J)=ETCY
  60 TO 200
  5001 WRITE(6,44)NSTA(I),(FRAG(I,JS),JS=1,6),ALTI(I),NSTA(J),(FRAG(J,JS
  1),JS=1,6),ALTI(J)
  D=DT(I,J)
  NC=NCT(I,J)
  CR=CRT(I,J)
  IF(CR)5003,5004,5003
  5004 WRITE(6,56)D,NC
  GO TO 350
  5003 VARCY=VARYCT(J,I)
  VARCX=VARCXT(J,I)
  XMOYCY=XMOYCT(J,I)
  YMOYCY=XMOYCT(J,I)
  ETCY=ETCCT(J,I)
  ETCX=ETCXT(J,I)
  200 IF(PRIMI(I))150,155,150
  150 NA=N(I)
  IF(NA-NC)153,153,150
  153 WRITE(6,7000)
  7000 FORHAT(2X,'EXTENSION IMPOSSIBLE ACTUELLEMENT')
  YMOY=MOY(J)
  VARY=VAR(J)
  ETYE=E(I)
  GO TO 154
  190 XMOY=MOY(I)
  VARX=VAR(I)
  YMOY=XMOY+CR*(ETCY/ETCX)*(XMOY-XMOYCY)
  VARX=VARX+CR**2*(VARY/VARCY)*(VARX-VARCY)
  IF(CR-0.950)160,165,165
  160 IF(VARY-VARCY)170,165,165
  170 VARY=VARCY
  165 ETYE=SQRT(VARY)
  154 COVAX=ETYE/YMOY
  WRITE(6,55)D,XMOYCY,VARCX,ETCX,YMOYCY,VARYCY,ETCY,CR,NC
  WRITE(6,60)YMOY, VARYE, ETYE, COVAX
  WRITE(7,70)NSTA(I),N(I),COV(I),NSTA(J),D,NC,CR,COVAX
  70 FORHAT('PKM.',14,1X,'OBS.',12,'ANS CV=',F5.3,2X,'SEC.',14,1X,'D='
  1,F7.0,2X,'NC=',12,2X,'CR=',F6.3,1X,'CV=',F5.3)
  GO TO 350
  155 WRITE(6,55)D,XMOYCY,VARCX,ETCX,YMOYCY,VARYCY,ETCY,CR,NC
  350 CONTINUE
  STOP
  END

```

Nota : Ce programme devra être modifié pour pouvoir assurer le traitement systématique des données hydropluviométriques du service hydrologique de l'ORSTOM.
 - modifications des formats d'entrée (plusieurs variantes à prévoir) .
 - traitement statistique poussé au moins jusqu'au calcul du gain .

STATION 1 (VARIABLE X) NUMERO 69 MULHOUSE-BALE
 ALTITUDE STATION 1 260 M
 STATION 2 (VARIABLE Y) NUMERO 9104 SAINT-PIERRE-LUCELLE
 ALTITUDE STATION 2 600 H

DISTANCE ENTRE LES STATIONS 29.
 PAS D'EXTENSION(0 ANNEES D'OBSERVATIONS COMMUNES)

STATION 1 (VARIABLE X) NUMERO 69 MULHOUSE-BALE
 ALTITUDE STATION 1 260 M
 STATION 2 (VARIABLE Y) NUMERO 9128 SILBERLOCH
 ALTITUDE STATION 2 900 H

DISTANCE ENTRE LES STATIONS 42. KM
 MOYENNE DE X 739. MM
 VARIANCE DE X 17445. MM2
 ECART TYPE DE X 132.1 MM
 MOYENNE DE Y 1173. MM
 VARIANCE DE Y 67422. MM2
 ECART TYPE DE Y 259.7 MM

COEFFICIENT DE CORRELATION 0.673
 CALCULES A PARTIR DES 5 ANNEES D'OBSERVATIONS COMMUNES

STATION 1 (VARIABLE X) NUMERO 71 MULHOUSE
 ALTITUDE STATION 1 240 M
 STATION 2 (VARIABLE Y) NUMERO 1 ALFELD
 ALTITUDE STATION 2 620 M

EXTENSION IMPOSSIBLE ACTUELLEMENT

DISTANCE ENTRE LES STATIONS. 35. KM
 MOYENNE DE X 739. MM
 VARIANCE DE X 21429. MM2
 ECART TYPE DE X 146.4 MM
 MOYENNE DE Y 2354. MM
 VARIANCE DE Y 241681. MM2
 ECART TYPE DE Y 491.6 MM

COEFFICIENT DE CORRELATION 0.720
 CALCULES A PARTIR DES 75 ANNEES D'OBSERVATIONS COMMUNES

MOYENNE ETENDUE DE Y 2353. MM
 VARIANCE ETENDUE DE Y 241681. MM2
 ECART TYPE ETENDU DE Y 491.6 MM
 COEF.VAR.ETENDU DE Y 0.209

STATION 1 (VARIABLE X) NUMERO 71 MULHOUSE
 ALTITUDE STATION 1 240 M
 STATION 2 (VARIABLE Y) NUMERO 4 ALTKIRCH
 ALTITUDE STATION 2 350 M

DISTANCE ENTRE LES STATIONS 14. KM
 MOYENNE DE X 724. MM
 VARIANCE DE X 21350. MM2
 ECART TYPE DE X. 146.1 MM
 MOYENNE DE Y 809. MM
 VARIANCE DE Y 19339. MM2
 ECART TYPE DE Y 139.1 MM

COEFFICIENT DE CORRELATION 0.934
 CALCULES A PARTIR DES 8 ANNEES D'OBSERVATIONS COMMUNES

MOYENNE ETENDUE DE Y 822. MM
 VARIANCE ETENDUE DE Y 19401. MM2
 ECART TYPE ETENDU DE Y 139.3 MM
 COEF.VAR.ETENDU DE Y 0.169

STATION 1 (VARIABLE X) NUMERO 71 MULHOUSE
 ALTITUDE STATION 1 240 M
 STATION 2 (VARIABLE Y) NUMERO 5 ASPACH-LE-BAS
 ALTITUDE STATION 2 300 M

DISTANCE ENTRE LES STATIONS 13. KM
 MOYENNE DE X 724. MM
 VARIANCE DE X 23107. MM2

Nota : Dans cet exemple , seule la station n°71 (MULHOUSE) joue le rôle de primaire .

ANNEXE III - POH 114

```

C ETUDE RATIONALISATION RESEAU
C ON SUPPOSE INFINIE LA DUREE OBS.AUX ST.PRIM.
C ON CALC.LE NB.DE ST.ANH.NECES.AUX ST.SECOND.
C 9 HYPOTHESES SELON PRECISION ET RISQUE ADOPTEES.
C DIMENSION FONPR(12),KASOM(12),KAM(50,12),NOSTAP(10),NOSTAS(50)
C 1,CR(10,50),COVAY(10,50),D(10,50),KAI(10,50,12),NAP(10),COV(10),NC(1
C 20,50)
C DIMENSION INOX(100),INDT(600),NOSTAQ(600)
C CALL ERASET(207,1,1,2,1,301)
504 DD 504 J=1,50
NOSTAS(J)=0
DD 505 I=1,12
FONPR(I)=0.
KASOM(I)=0
DD 505 J=1,50
KAM(J,I)=0
DD 506 I=1,10
NOSTAP(I)=0
NAP(I)=0
CJV(I)=0.
DD 506 J=1,50
NC(I,J)=0
CR(I,J)=0.
COVAY(I,J)=0.
DI(I,J)=0.
506 KAI(J,K)=0
DD 550 I=1,100
INOX(I)=0
DD 551 I=1,600
NOSTAQ(I)=0
551 INDT(I)=0
C LECTURE DES DONNEES A ET B
C A) VALEURS DE FONPR QUI REPRES.LES COND.DE PRECISION ET RISQUE
READ(5,72)(FONPR(X),K=1,9)
72 FORMAT(9F8.6)
J=1
511 J=1
B) IZ LOTS D UN MEME NOMBRE DE CARTES
---
CHACQUE LOT EST SUIVI D UNE CARTE BLANCHE
LE DERNIER LOT EST SUIVI DE 2 CARTES BLANCHES
TRES LES CARTES D UN MEME LOT ONT LE MEME NOSP (NUMERO DE STATION PRIM.)
LES IZ SERIES FORMEES PAR LES NOST DE CHACQUE LOT SONT IDENTIQUES
---
LES NUMEROS DE TRES LES STATIONS MEME PRIM.FIGURENT DANS LE TABLEAU NOSTAS
DANS LES CARTES RELAT.A L EXTENSION D UNE STATION PRIM.PAR ELLE MEME.
OU TROUVE SUCCESSIVEMENT NP=0,5V=9.,D=0.,NC=0.,CR=0.,CV=9.,IPAR CONVENTION)
509 READ(5,71)NOSP,NP,CV,NOST,DI(I,J),NC(I,J),CR(I,J),COVAY(I,J)
71 FORMAT(5X,14,5X,12,7X,F5.3,4X,14,3X,F7.0,5X,12,5X,F6.3,4X,F5.3)
IF(NOSP)508,508,507
507 NOSTAP(I)=NOSP
IF(NOSTAS(J))520,521,520
521 NOSTAS(J)=NOST
GO TO 522
520 IF(NOSTAS(J)-NOST)930,522,930
522 NAP(I)=NP
COV(I)=CV
J=J+1
GO TO 509
508 IF(J-1)600,600,510
510 I=I+1
GO TO 511
600 I=1
C CONSIDERANT SUCCESSIVEMENT LA STATION NOSP DE CHACQUE LOT,COMME SEULE PRIM.,
C ON CALC.LES NB.D ANH.D OBS.NECES.A CHACUNE DES AUTRES STATIONS POUR QUE
C L EXTENSION REPONDE AUX COND.REPRES.PAR CHACQUE VALEUR DE FONPR
605 IF(NOSTAP(I))699,699,604
606 J=1
601 IF(NOSTAS(J))602,602,503
603 DD 606 K=1,9
U2=0.5*(COVAY(I,J))**2/FONPR(X)*(1.-CR(I,J))**2)+1.5
606 KAI(J,K)=1+IFIX(U2+SQRT(U2-2.))**2+2.)
J=J+1
GO TO 601
602 I=I+1
GO TO 805
C POUR CHACQUE STATION NOSTAS(J) A ETENDRE,SELECTION DE LA PRIM. NOSTAP(I) QUI
C PERMET L EXTENSION AVEC LE NB.D ANH.D OBS.MINIMAL KAM(I,J,1) EN CETTE
C STATION NOSTAS(J),DANS LES COND.LES PLUS SEVERES (PREMIERE VALEUR DE FONPR)
699 WRITE(6,84)
84 FORMAT(2X,'NB.ANH.D OBS.MINI.NECES.A CHAC. DES ST.SECOND.CS.CHAC.DES
C HYPOT.OE PRECIS.ET RISQUE)
C ON ETABLIT UNE SERIE D INDICES INDT FORMEE DE SERIES PARTIELLES S.P.I.
C SEPARRES PAR DES ZEROS (APRES LA DERNIERE S.P.I.,ON PLACE ZERO,PUIS 9999)
C UN INDICE INDT CORREP.AU RANGLAUGR.DE 1) D UNE DES IZ STATIONS PRIM.RANGEEES
C DANS LE TABLEAU NOSTAP (V.ENTRE INSTR.841 ET 842 LA SERIE INDT POUR IZ=2)
IZ=1-1
IF(IZ-2)930,841,842
841 INDT(1)=3
INDT(2)=0
INDT(3)=2
INDT(4)=0
INDT(5)=3
INDT(6)=2
INDT(7)=0
INDT(8)=9999
GO TO 900
C DEBUT DE LA RECHERCHE DES S.P.I. DE (IZ-1) TERMES
842 DD 801 I=1,IZ
INDX(I)=I+1
ID=1+IZ
801 INDX(ID)=INDX(I)
DD 802 IAA=1,IZ
IA=IAA-1
IZ=IA+IZ
DD 803 IAB=2,IZ
I=IAB-1
803 INDT(IZ+I)=INDX(I+IA+1)
802 INDT(IZ+I)=0
IZ=IZ+I
C DEBUT DE LA RECHERCHE DES S.P.I. DE (IZ-2) TERMES
DD 804 IAC=2,IZ
I=IAC-1+IZR
INDX(I)=INDT(I)
ID=I+IZ-1.
804 INDX(ID)=INDX(I)
DD 805 IAD=IZE,IZ
IA=IAD-IZE
IZ=IA*(IZ-1)
DD 806 IAE=3,IZ
I=IAE-2
806 INDT(IZ+IZA+I)=INDX(I+IA+1+IZR)
805 INDT(IZ+IZA+IZ-1)=0
807 IZI=IZ+IZA+IZ-1
C DEBUT DE LA DEFINITION DE LA SERIE S.P.I. DE IZ TERMES
DD 810 I=1,IZ
810 INDT(IZ+I)=I+1
IZI=IZ+IZ-1
INDT(IZ)=0
IF(IZ-3)930,830,813
C 5 IL Y A AU MOINS 4 STATIONS PRIM.,DEBUT DE RECHERCHE DES S.P.I. DE 1 TERME
813 99 820 IAF=1,IZ
I=IAF-1
INDT(IZ+1)=I
IZI=IZ+2
820 INDT(IZI)=0
IF(IZ-4)930,830,825
C 5 IL Y A AU MOINS 5 STATIONS PRIM.,DEBUT DE RECHERCHE DES S.P.I. DE 2 TERMES
825 DD 829 I=2,IZ
DD 829 JAA=1,IZ
J=JAA-1
INDT(IZ+1)=I
INDT(IZ+2)=J
IZI=IZ+3
829 INDT(IZI)=0
830 INDT(IZ+1)=9999
600 IC=0
C LA SELECTION DES STATIONS PRIM. EST EFFECTUEE JUSQU A L INSTR.920 AUTANT DE
C FOIS QU IL EXISTE DE S.P.I. INDT (ET CHACQUE FOIS,ON AUGMENTE IC)
910 J=1
700 I=IC+1
IM=INDT(I)-1
C CONTROLE DE FIN DE SERIE INDT
IF(IM-9998)702,930,930
702 IF(J-1)730,730,731
730 WRITE(6,88)NOSTAP(IM)
88 FORMAT(//2X,'STATIONS PRIMAIRES UTILISEES'/10X,14)
731 KAM(J,1)=KAI(M,J,1)
I=IM
701 IM=INDT(I+1)-1
IF(IM)704,704,710
710 IF(J-1)720,720,708
720 WRITE(6,89)NOSTAP(IM)
89 FORMAT(10X,14)
NOSTAQ(I+1)=NOSTAP(IM)
708 IF(KAM(I,1)-KAI(M,J,1))711,711,703
703 KAM(I,1)=KAI(M,J,1)
IV=IM
711 I=I+1
GO TO 701
C CUMUL DES NB.D ANN.DETERMINES SUCCESSIVEMENT POUR CHACQUE STATION NOSTAS(J)
C DIFFERENTE DES PRIMAIRES SELECTIONNEES
704 IF(NOSTAS(J)-NOSTAP(IM))740,750,740
740 IBI=IC+2
IBF=MAX0(IBI,1)
DD 745 IB=IBI,IBF
IF(NOSTAS(J)-NOSTAQ(IB))745,750,745
745 CONTINUE
DD 705 K=1,9
705 KASOM(K)=KASOM(K)+KAI(IV,J,K)
750 IF(NOSTAS(J)-NOSTAP(IV))755,760,755
755 WRITE(6,85)NOSTAS(J),NOSTAP(IV),KAI(IV,J,K),K=1,9)
85 FORMAT(//2X,'ST.V3',15,2X,'K MINI.AV.ST.P.NO',15,2X,'S,SOIT',3X,916
1)
760 J=J+1
IF(NOSTAS(J))706,706,700
C SORTIE DES RESULTATS DU CUMUL,A LA FIN D UNE OPERATION DE SELECTION
706 WRITE(6,83)(KASOM(K),K=1,9)
83 FORMAT(//2X,'NB.DE ST.ANH.NECES.AUX ST.SECOND.OS.CHAC.DES HYPOT.OE
C PRECIS.ET RISQUE'/2X,916)
IC=IC+1
DD 820 K=1,9
820 KASOM(K)=0
GO TO 910
930 STOP
END

```

NO. ANN. ONS. MINI. NEGES. A CHAC. DES ST. SECOND. DS. CHAC. DES HYPOT. DE PRECIS. ET RISQUE

STATIONS PRIMAIRES UTILISEES

	50	51	71	88	103									
ST. NO 1	95	68	49	43	31	23	18	13	12					
ST. NO 4	51	37	26	24	17	13	10	8	8					
ST. NO 5	125	90	64	57	41	29	24	17	16					
ST. NO 6	122	88	62	55	40	29	23	17	15					
ST. NO 16	133	95	67	60	43	31	25	18	17					
ST. NO 40	152	108	77	68	49	35	28	20	19					
ST. NO 45	210	150	106	94	67	48	38	28	25					
ST. NO 47	164	117	83	74	53	38	30	22	20					
ST. NO 49	66	47	34	30	22	16	13	10	9					
ST. NO 50	137	98	69	62	44	32	26	19	17					
ST. NO 51	138	99	70	62	45	32	26	19	17					
ST. NO 53	40	29	21	19	14	10	9	7	6					
ST. NO 61	130	93	66	59	42	30	24	18	16					
ST. NO 65	80	57	41	36	26	19	16	11	11					
ST. NO 67	128	92	65	58	42	30	24	17	16					
ST. NO 68	104	74	53	47	34	24	20	14	13					
ST. NO 69	69	49	35	31	23	17	14	10	9					
ST. NO 71	199	141	100	89	64	45	36	26	24					
ST. NO 76	192	137	97	86	62	44	35	25	23					
ST. NO 87	157	112	79	71	51	36	29	21	19					
ST. NO 84	116	83	59	52	38	27	22	16	15					
ST. NO 89	93	67	47	43	31	22	18	13	11					
ST. NO 89	39	28	20	18	14	10	9	7	6					
ST. NO 94	36	26	19	17	13	10	8	6	6					
ST. NO 101	93	68	48	43	31	22	18	13	12					
ST. NO 103	222	159	112	100	71	51	41	29	27					
ST. NO 104	105	75	54	48	34	25	20	15	13					
ST. NO 105	124	88	63	56	40	29	23	17	16					
ST. NO 107	32	23	17	15	11	9	7	6	6					
ST. NO 113	93	66	47	42	30	22	18	13	12					
ST. NO 137	121	87	61	55	39	28	23	17	15					
ST. NO 137	116	83	59	52	38	27	22	16	15					
ST. NO 138	151	108	76	68	49	35	28	20	19					
ST. NO 0104	78	56	40	36	26	19	15	11	10					
ST. NO 0120	85	61	43	39	28	20	17	12	11					

NO. OF ST. ANN. NEGES. AUX ST. SECOND. DS. CHAC. DES HYPOT. DE PRECIS. ET RISQUE
 9209 2295 1631 1443 1048 755 610 445 410

STATIONS PRIMAIRES UTILISEES

	51	71	88	103										
ST. NO 1	121	87	61	55	39	28	23	17	15					
ST. NO 4	51	37	26	24	17	13	10	8	8					
ST. NO 5	125	90	64	57	41	29	24	17	16					

114 - 2

Nota : Les 9 nombres de stations-années sont les totaux des 9 colonnes de nombres d'années à cela près que les lignes correspondant aux 5 stations primaires ne sont pas prises en compte.

ANNEXE IV - POH 115

```

C RATIONALISATION D'UN RESEAU PLUVIOMETRIQUE
C SELECTION DE LOTS DE STATIONS PRIMAIRES SUPPLEMENTAIRES
DIMENSION FDNPR(I2),KS(I2),KCH(SO,I2),NS(50),COV(50),IRES(3),
INT(50),CA(63,63),KA(50,50,12),TL(50),IL(50,50),IPOP(50),NOSQL(50)
C LECTURE LISTE DES 9 VALEURS FDNPR (FONCTION PRECISION RISQUE)
CALL BRNSEE(1207,0,1,2,1,301)
READ(5,72)(FONPR(K),K=1,9)
72 FORMAT(9F8.6)
C LECTURE LISTE DES 4 SEUILS DE DUREE D OBSERVATION DES STATIONS SECONDAIRES
READ(5,10)(KS(I),I=1,4)
10 FORMAT(4I5)
C LECTURE NUMEROS STATIONS
C LECTURE DU PLUS GRAND DES SEUILS DE DUREE POUR LESQUELS CHAQUE STATION
C SECONDAIRE DOIT ETRE TESTEE POUR SAVOIR SI ELLE DEVIENDRA PRIMAIRE
C LECTURE DES COEF. DE VARIATION
C PAR CARTE, ON A UNE STATION ET 9 SEUILS DE DUREE POUR LES 9 HYPOTHESES FDNPR
I=1
120 READ(5,20)(NS(I), (KCH(I,K),K=1,9),COV(I))
20 FORMAT(10I5, 2X, F5.1)
IF(NS(I))100,100,110
110 I=I+1
GO TO 120
100 NN=I-1
C LECTURE LISTE DES COEF. DE CORRELATION
I=1
230 JD=I+1
220 JF=JD+12
READ(5,30)(CA(I,J),J=JD,JF)
30 FORMAT(13F6.3)
IF(CR(I,JF))200,200,210
210 J0=JF+1
GO TO 220
200 I=I+1
IF(NN-I-1)300,230,230
C CALCUL DUREES OBSERV. NECES. EN H(S) SI EXTENSION FAITE A PARTIR DE NS(I)
C
300 DO 310 I=1,NN
DO 310 J=1,NN
IF(I-J)320,311,330
320 CR(I,J)=CA(I,J)
330 DO 309 K=1,9
U2=0.5*(COV(J))**2/FDNPR(K)*(1.-CR(I,J))**2+1.5
309 K(I,J,K)=1+FIX(K/2*SQRT(U2-2))**2*2.))
WRITE(6,10)(NS(I),NS(J),(K(I,J),K=1,9)
70 FORMAT(12X,'DUREES EN',I5,2X,'POUR EXTENSION PAR',I5/2X,9I7)
GO TO 310
311 DO 312 K=1,9
312 K(I,J,K)=0
310 CONTINUE
340 WRITE(6,5000)
5000 FORMAT(11)
C DETERMINATION DES LOTS DE STATIONS DEVANT DEVENIR PRIMAIRES
C
C DEBUT DES BOUCLES DONT CHACUNE DETERMINE LES LOTS CORRESP. A 1 SEUIL DE DURPE
DO 800 J=1,4
DO 810 I=1,NN
DO 810 J=1,NN
810 IL(I,J)=0
C DEBUT DES BOUCLES DONT CHACUNE DETERMINE LES LOTS CORRESPONDANT A 1 SEUIL DE
C DUREE ET 1 HYPOTHESE DE PRECISION ET RISQUE
DO 800 JF=1,9
DO 820 I=1,NN
DO 820 J=1,NN
IF(IL(I,J))820,830,830
830 IL(I,J)=KA(I,J,JF)*K(I,J,JF)-KS(JK)-1)
820 CONTINUE
IABIO=1
C DEBUT DES BOUCLES DONT CHACUNE DETERMINE LE LOT CORRESPONDANT A 1 SEUIL DE
C DUREE, 1 HYPOTHESE DE PRECISION ET RISQUE ET 1 VARIANTE DANS LA METHODE DE
C SELECTION
DO 790 MVAR=1,4
WRITE(6,4000)
4000 FORMAT('0///)
I=1
NIEP=0
NMR=0
NR=0
DO 401 I=1,NN
NOSQL(I)=0
401 IPDP(I)=KCH(I,JF)-KS(JK)-1
405 NSQL=0
DO 410 I=1,NN
TL(I)=0.
IF(IR-1)990,440,409
409 IF(NOSQL(I))990,410,440
440 DO 420 J=1,NN
IF(IPDP(J))420,450,450
450 IF(IL(I,J))430,420,420
430 TL(I)=TL(I)+1
420 CONTINUE
IF(TL(I))990,480,460
460 NOSQL(I)=NS(I)
NSQL=NSQL+1
480 IF(IPDP(I))408,410,410
408 IF(IR-1)990,411,410
411 NIEP=NIEP+1
410 CONTINUE
IF(NSQL-2)500,600,600
500 IF(IR-1)990,501,502
501 IABIO=0
502 IF(NSQL-1)970,510,990
510 DO 520 I=1,NN
IF(TL(I))990,520,530
520 CONTINUE
530 NT(IR)=NOSQL(I)
IC=
IF(IPDP(IC))532,533,533
532 NV=NV+1
533 IPDP(IC)=-1
IR=IR+1
DO 550 J=1,NN
IF(IPDP(J))550,540,540
540 IF(KA(IC,J,JF)-KS(JK))551,551,560
560 NT(IR)=NS(I)
IR=IR+1
GO TO 550
551 NMR=NMR+1
550 CONTINUE

```

```

GO TO 790
570 DO 890 J=1,NN
IF(IPDP(J))590,580,580
580 NT(IR)=NS(I)
IR=IR+1
590 CONTINUE
GO TO 730
600 IVAR=1
DO 599 JVAR=1,3
599 IRES(JVAR)=0
601 TLRMAX=0.
DO 650 I=1,NN
IF(NOSQL(I))990,650,610
610 IF(TL(I)-TLRMAX)650,650,660
660 TLRMAX=TL(I)
IC=
650 CONTINUE
JVAR=MVAR-IVAR
IF(JVAR)990,651,602
602 IVAR=IVAR+1
IRES(JVAR)=IC
NOSQL(IC)=0
GO TO 601
651 DO 661 JVAR=1,3
ICRES=IRES(JVAR)
IF(ICRES)990,661,659
659 NOSQL(ICRES)=NS(ICRES)
661 CONTINUE
IF(IPDP(IC))652,653,653
652 NV=NV+1
653 IPDP(IC)=-1
NT(IR)=NS(IC)
IR=IR+1
DO 700 J=1,NN
IF(IPDP(J))700,710,710
710 IF(TL(IC)-1)720,700,700
720 IPDP(J)=-1
NMR=NMR+1
700 CONTINUE
GO TO 405
730 NR=NR+1
NIEP=NIEP+NV
IF(NV-NIEP-NR-NMR)750,740,750
750 WRITE(6,3000)NIEP,NR,NMR
3000 FORMAT(2X,'ERR. DE LOGIQUE CAR DECORNPTE NIEP NR NMR SONT',3I5)
740 WRITE(6,90)(KS(JK),FONPR(JF),MVAR,NR
90 FORMAT(12X,'SEUIL DE DUREE',35I3,1X,'ANS',1/2X,'FONCTION PRECISION
1N RISQUE',24X,F8.6/2X,'METHODE DE SELECTION NUMERO',23X,11/2X,'NB
3DE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE',14)
IF(NR)990,850,860
860 WRITE(6,91)
91 FORMAT(10X,'SUPPLEMENT A LA LISTE DES NUMEROS DES STATIONS PRIMAI
RES')
NRQ=NR/20
IF(NRQ)990,870,880
870 WRITE(6,92)(NT(I),I=1,NR)
GO TO 850
880 NR=NR-20*NRQ
DO 890 K=1,NRQ
890 WRITE(6,93)(NT(IK+20*(K-1)),IK=1,20)
WRITE(6,92)(NT(K+20*NRQ),K=1,NRQ)
92 FORMAT(2X,20I5)
450 IF(IABIO)990,800,790
790 CONTINUE
800 CONTINUE
990 STOP
END

```

Exemple de sorties imprimées

DUREES EN	89	POUR EXTENSION PAR	3	43	34	25	23
185	132	93	84	60			
DUREES EN	95	POUR EXTENSION PAR	3	23	19	14	13
97	70	50	44	32			
DUREES EN	106	POUR EXTENSION PAR	3	26	21	15	14
109	78	55	49	36			
DUREES EN	108	POUR EXTENSION PAR	3	28	23	17	15
120	86	61	55	39			
DUREES EN	110	POUR EXTENSION PAR	3	50	40	29	26
220	157	111	99	71			
DUREES EN	115	POUR EXTENSION PAR	3	20	17	12	11
85	61	43	39	28			
DUREES EN	116	POUR EXTENSION PAR	3	15	12	9	9
62	45	32	29	21			
DUREES EN	123	POUR EXTENSION PAR	3	51	41	29	27
223	159	112	100	72			
DUREES EN	127	POUR EXTENSION PAR	3	27	22	16	15
114	83	59	53	38			
DUREES EN	129	POUR EXTENSION PAR	3	31	25	18	16
132	94	67	60	43			
DUREES EN	130	POUR EXTENSION PAR	3	20	16	12	11
85	61	43	39	28			
DUREES EN	136	POUR EXTENSION PAR	3	20	14	12	11
85	61	43	39	28			
DUREES EN	141	POUR EXTENSION PAR	3	16	13	10	9
64	46	33	30	21			
DUREES EN	3	POUR EXTENSION PAR	4	40	48	34	31
263	188	132	118	84			

SEUIL DE DUREE 30 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000992
METHODE DE SELECTION NUMERO 1
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 0

SEUIL DE DUREE 30 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000651
METHODE DE SELECTION NUMERO 1
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 0

SEUIL DE DUREE 40 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000074
METHODE DE SELECTION NUMERO 1
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 23

SUPPLEMENT A LA LISTE DES NUMEROS DES STATIONS PRIMAIRES
110 141 8 23 52 53 58 106 3 10 24 25 27 28 30 44 47 60 95 108
116 127 129

SEUIL DE DUREE 40 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000074
METHODE DE SELECTION NUMERO 2
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 24

SUPPLEMENT A LA LISTE DES NUMEROS DES STATIONS PRIMAIRES
141 8 23 52 53 57 106 110 58 3 10 24 25 27 28 30 44 47 60 95
108 116 127 129

SEUIL DE DUREE 40 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000074
METHODE DE SELECTION NUMERO 3
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 24

SUPPLEMENT A LA LISTE DES NUMEROS DES STATIONS PRIMAIRES
8 23 52 57 106 110 141 58 53 3 10 24 25 27 28 30 44 47 60 95
108 116 127 129

SEUIL DE DUREE 40 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000074
METHODE DE SELECTION NUMERO 4
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 24

SUPPLEMENT A LA LISTE DES NUMEROS DES STATIONS PRIMAIRES
23 52 57 106 110 123 141 58 53 3 10 24 25 27 28 30 44 47 60 95
108 116 127 129

SEUIL DE DUREE 40 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000104
METHODE DE SELECTION NUMERO 1
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 20

SUPPLEMENT A LA LISTE DES NUMEROS DES STATIONS PRIMAIRES
136 8 80 23 29 52 53 58 106 3 10 27 28 30 47 60 108 116 127 129
108

SEUIL DE DUREE 40 ANS
FONCTION PRECISION RISQUE 0,000104
METHODE DE SELECTION NUMERO 2
NBDE STATIONS PRIMAIRES A AUGMENTER DE 19

SUPPLEMENT A LA LISTE DES NUMEROS DES STATIONS PRIMAIRES
8 80 115 141 53 58 62 52 3 10 27 28 30 47 60 108 116 127 129