

ETUDE DES RELATIONS PLUIE-DEBIT
SUR TROIS BASSINS VERSANTS D'INVESTIGATION.

Y. CORMARY - A. GUILBOT

ABSTRACT

Research basins are useful way to study hydrologic cycle
On three of them, with areas between 100 and 250 km², the
authors have established a model relating rain and runoff

This model is able to simulate mesured runoff series
from rain series and provide a better understanding of hydrologic
mechanisms at the scale of this basins.

This paper suggests a methodology which, applied to many
basins, should permit the identification of the relations between
the physical characteristics of a basin and the model parameters
identification which is necessary in order to apply this model
to ungaged basins.

RESUME

Les bassins versants d'investigation constituent en eux
mêmes un outil de recherche privilégié en ce qui concerne les
mécanismes mis en jeu par le cycle hydrologique naturel.

Sur trois d'entre eux, de superficie comprise entre
100 et 250 km², les auteurs ont établi un modèle de liaison pluie
débits permettant la reconstitution des séries de débits observés
à partir des séries concomitantes de pluie et autorisant une
meilleure connaissance des mécanismes hydrologiques considérés
à l'échelle de ces bassins

L'approche du cycle hydrologique à nécessité diverses
opérations telles que:

- choix du schéma hydrologique et mise au point du modele
- réglage du modele et mise au point d'un processus de
détermination numérique des parametres
- vérification de la validité du modèle par comparaison
aux séries observées (au niveau des caractéristiques statistiques
des principales grandeurs hydrologiques)
- étude de la convergence des méthodes d'optimisation en
présence d'erreurs aléatoires sur les données d'entrées
- analyse spatiale et temporelle des séries entrée-sortie
(choix du pas de temps des entrées et détermination du décalage
pluie-débit par analyses spectrales)

Cette étude définit une méthodologie générale d'utilisa-
tion qui devrait permettre, à long terme, l'identification des
relations liant les caractéristiques physiques d'un bassin et les
parametres du modele, identification nécessaire dans le cas d'ap-
plication du modèle à des bassins non contrôlés

CORMARY Yves - Ingénieur Agronome - Laboratoire National
d'Hydraulique E.D.F. - Professeur Associé à l'Université des
Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier (France)

GUILBOT Alain - Ingénieur - Laboratoire d'Hydrologie -
Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier
(France)

I. GENERALITES:

Dans l'étude de la liaison pluie - débit, il s'agit d'élaborer généralement un modèle, type "boîte noire" qui, considérant la série des pluies comme "entrée", permet d'obtenir une "sortie" concordant sensiblement avec la série chronologique concomitante des débits observés

On peut alors envisager plusieurs types de modèles, tels que les modèles linéaires classiques obtenus par corrélation, analyse multivariées, analyse factorielle... , les modèles à élément central linéaire (basé sur l'hypothèse de l'hydrogramme unitaire) ou les modèles conceptuels qui, en quelque sorte, font la synthèse générale.

La structure d'un modèle conceptuel est fondée sur la connaissance ou la pseudo-connaissance des phénomènes en jeu dans le cycle hydrologique.

On suppose, par exemple, que les taux et les vitesses de transfert de l'eau de pluie par telle ou telle partie de cycle hydrologique sont asservis à l'état de remplissage de la zone correspondante par des fonctions à un ou deux paramètres.

La sortie résultante, en l'occurrence la série des débits calculés, est comparée à la sortie observée dans le système réel, c'est à dire la série des débits observés à l'exutoire du bassin.

Si la concordance ne semble pas satisfaisante, on modifie les paramètres des fonctions des divers sous-systèmes, jusqu'à obtenir une correspondance satisfaisante entre les séries observées et calculées

Ceci ne devrait être fait, non pas dans le but d'un calage spécifique permettant d'obtenir l'hydrogramme d'un bassin particulier, mais dans l'optique d'une recherche de liens entre les valeurs des paramètres du modèle et les caractéristiques du bassin.

Il est donc nécessaire d'une part d'appliquer le même modèle à de nombreux bassins, d'autre part que tout modèle conceptuel soit, au départ, aussi simple que possible et que des modifications ne lui soient apportées que si la nécessité absolue apparaît. (raisons physiques ou amélioration évidente de la reproduction)

Un système simple, parce que dans un schéma élaboré, il y aura de fortes chances que le modèle comporte deux sous-système tout à fait équivalents et il sera extrêmement délicat de lever l'indétermination sur l'attribution de la valeur des paramètres à l'un ou l'autre de ces sous-systèmes, ensuite parce que seul un modèle simple permettra l'identification paramètres-caractéristiques du bassin et donc son utilisation sur des bassins non jaugés.

II. LES BASSINS ET LES DONNEES:

L'étude porte sur trois bassins expérimentaux présentant des caractères morphologiques, géologiques et pédologiques bien différenciés.

-le bassin de la DIEGE, affluent de la DORDOGNE, d'une superficie de 225 km². Géré par EDF depuis 1960 puis par le Laboratoire d'Hydrologie de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, c'est un bassin montagneux, cristallin, bien boisé et soumis à des influences océaniques et méditerranéennes.

-le bassin de l'ORGEVAL, affluent du GRAND MORIN d'une superficie de 104 km². Géré par le C.T.G.R.E.F (Ministère de l'Agriculture) depuis 1962, c'est un vaste plateau limoneux, couvert dans sa majeure partie de culture et soumis à des influences océaniques et continentales.

-le bassin de l'HALLUE, affluent de la SOMME, d'une superficie de 219 km². Géré depuis 1966 par le B.R.G.M, c'est un bassin de relief modéré, formé de craie recouverte de limon et principalement mis en culture. Il est soumis essentiellement à des influences océaniques.

Ces trois bassins étant des bassins expérimentaux, les données étaient caractérisées d'une part par un volume important d'informations disponibles, d'autre part par une qualité de l'enregistrement et du dépouillement (à de rares exceptions près)

Le choix d'une pluviométrie représentative fut fait, soit en fonction de nos propres connaissances du bassin (B.V de la DIEGE), soit en fonction des conseils de l'organisme de gestion (BV de l'ORGEVAL), soit après une analyse spatiale de la pluviométrie (B.V de l'HALLUE).

Le choix de l'indice d'ETP a, par contre, été mené de manière quelque peu arbitraire et de façon indépendante pour les trois bassins ce qui semble une erreur, compte tenu de l'importance effective de sa variance interannuelle et de son niveau moyen

Remarque une méthode systématique de dépouillement a été mise au point et utilisée dans le cadre de cette étude.

Il s'agit de traduire l'enregistrement pluviométrique ou limnimétrique dans un système (X,Y) sur machine D.MAC puis de transformer ces données "digitalisées" en données de pas de temps voulu (2h, 10 mn..)

III. LES MODELES:

Dans le cadre d'une précédente étude, plusieurs modèles avaient été élaborés et testés par le Laboratoire.

Trois d'entre eux ont été retenus et rendus opérationnels. Ce sont les modèles DIEGE, MERO et CREC.

IV. LES METHODES EMPLOYEES:

4.1.1: Méthodes des composantes principales appliquée à la détermination de la représentativité de l'information pluviométrique:

La méthode d'analyse en composantes principales permet de substituer k vecteurs X de n composantes corrélées entre elles à k vecteurs Y de p composantes indépendantes avec $p \leq n$.

La matrice formée par les k observations journalières aux n postes pluviométriques disponibles est ainsi réduite à une matrice Y^p_k telle que celle ci présente, par colonne, une chronologie décroissante du maximum de variation pour les variables Y_i .

Les dernières variables Y présentant une variance faible ne seront pas prises en compte dans la définition de l'information pluviométrique sur le bassin considéré.

Les n postes retenus sont ceux qui sont les mieux liés à ces premières composantes. La combinaison linéaire qui explique le mieux la variance de la lame est celle qui sera retenue.

L'analyse en composantes principales de la pluviométrie du bassin de l'HALLUE a ainsi permis d'éliminer certains postes peu représentatifs et autorisé l'élaboration d'une lame

4.1.2: Analyse spectrales des séries chronologiques de pluie et de débit permettant la prédétermination de certains paramètres:

L'analyse spectrale univariée est une technique de traitement des séries chronologiques permettant, par l'analyse d'une fonction $S(f)$, appelée densité spectrale ou spectre et qui est la transformée de Fourier de la fonction d'autocovariance, de déterminer la fréquence des mesures à retenir (celle ci doit être suffisamment grande pour conserver une grande partie de l'information disponible mais elle doit tenir compte de l'importance des erreurs qui risquent de fausser les résultats). Cette erreur est très sensible quand le pas de temps est court et atténuée quand on effectue une moyenne qui lisse les résultats.

L'analyse spectrale croisée permet d'étudier les relations stationnaires entre deux processus en se limitant au domaine linéaire. On définit:

- la cohérence qui mesure à chaque fréquence la corrélation linéaire entre les deux processus
- la phase qui permet de déterminer le décalage global entre les deux séries.

Ce type d'analyse a permis, par exemple, sur le bassin de la DIEGE, de montrer que l'approximation de la fonction pluie-débit par un modèle linéaire devait être effectuée sur des données de 16 heures (ou à défaut de 24 heures) décalées de 8 heures.

4.2 Méthode de détermination des paramètres des modèles:

Les paramètres des fonctions des divers sous-systèmes des modèles (production, transfert) sont rarement déterminés a priori de façon précise. Nous avons accompli un effort tout particulier pour mettre au point une technique de détermination numérique de ces paramètres, technique devant être assez générale pour être appliquée systématiquement à n'importe quel bassin en assurant une convergence réelle et rapide vers un optimum objectif.

La méthodologie que nous proposons, testées initialement sur séries fictives, donc correspondant à une structure de modèle et un jeu de paramètres définis, semble particulièrement intéressante:

1. Définition de la zone de variation de chacun des paramètres (en fonction de la nature du bassin et des résultats des analyses préalables des séries d'entrées)

2. Tirage au hasard, d'abord dans une loi uniforme puis dans une loi normale avec diminution de la variance de la loi en cas de succès (ceci afin d'éviter une recherche systématique à partir d'un faux minimum)

3. Recherche "directe", avec rotation des axes de coordonnées (ROSENBROCK). Recherche séquentielle effectuée successivement sur chacun des axes de coordonnées (correspondant chacun à un paramètre) suivant un pas d'exploration modifié selon les échecs et les succès rencontrés. Si, dans toutes les directions on a enregistré au moins un succès suivi d'un échec, on définit alors la nouvelle direction du premier axe comme étant celle joignant le point initial et le point final. La direction des autres axes est obtenue par la méthode d'orthogonalisation de SCHMIDT.

4. Recherche fine par la méthode du gradient conjuguée (Powell) lorsque la précédente méthode ne converge que très lentement. La méthode de POWELL utilise la méthode des directions conjuguées mais modifie le procédé de base afin d'accélérer la vitesse de convergence vers l'optimum tout en définissant un processus de recherche le long d'un axe.

Ces diverses méthodes appliquées en cascade permettent la réduction d'un critère d'écart choisi afin d'assurer une reconstitution satisfaisante et homogène sur une période déterminée, (le critère choisi est de la forme

$$F = \frac{1}{N} \sum \frac{|Q_{\text{obs}} - Q_{\text{cal}}|}{Q_{\text{obs}}} * \frac{|Q_{\text{obs}} - Q_{\text{moyen}}|}{Q_{\text{moyen}}}$$

N étant le nombre de mois de la période de calage et Q_{moyen} le module de la période de calage

Ce choix a été fait dans le but de rendre préférentiels les écarts sur les valeurs extrêmes. En effet, dans cette expression plus on s'écarte du débit moyen, plus l'écart relatif est pondéré par une valeur importante, et cela, aussi bien pour les faibles débits que pour les crues.

Exemple d'application de la méthode d'optimisation proposée

En appliquant un jeu de paramètres à une série de données pluviométriques journalières, nous avons généré une série de débits fictifs journaliers à l'aide du modèle CREC.

Nous nous sommes ensuite proposé de reconstituer cette série de débits en utilisant la méthode précédemment décrite.

La réelle convergence de la méthode, tant au niveau de la fonction critère qu'au niveau des paramètres, semble montrer son efficacité dans le cas de séries parfaitement adéquates, sans erreurs de mesure et avec un modèle vrai.

Résultats de la recherche des paramètres du modèle CREC par la méthode préconisée

	Valeur vraie	Etape 1	Etape 2	Etape 3	Erreur relative %
X1	0.069	0.0597	0.0765	0.0693	0.4
X2	0.843	0.7322	0.5871	0.8435	0.06
X3	0.0212	0.3922	0.0341	0.0221	4
X4	0.0344	0.0080	0.0272	0.0343	0.3
X5	3.902	6.5784	4.5951	3.8290	1.9
X6	7.992	6.8303	5.5790	8.020	0.4
X7	15.146	27.7554	4.6670	13.8880	8.3
F	0	636	58	1.5	

Interprétation des résultats

L'adéquation du modèle CREC à l'étude de la liaison pluie-débit sur les trois bassins étudiés peut s'accompagner d'une tentative de justification.

Le schéma proposé par ce modèle présente au niveau du transfert une zone que l'on peut qualifier d'hypodermique et une zone souterraine.

Il apparaît que, pour le bassin de l'HALLUE, l'écoulement calculé provient pour une part essentielle de la zone souterraine, ce qui est en accord avec l'influence prépondérante des variations de la nappe phréatique sur les débits observés sur ce bassin.

De même pour le bassin de l'ORGEVAL, drainé artificiellement (drainage agricole) et ne présentant pas de réserves souterraines importantes, la majeure partie de l'écoulement calculé provient de la zone définie comme "hypodermique" (l'alimentation de la zone souterraine semblant être une constante du bassin).

Enfin, sur le bassin de la DIEGE, l'écoulement hypodermique est là aussi essentiel. De plus, deux remarques sont à faire : d'une part ce bassin peut présenter dans le cas d'une saturation importante du sol accompagnée de pluies intenses, du ruissellement "superficiel" (crue historique de 1960), ce que l'on retrouve au niveau du schéma du modèle CREC, d'autre part, il semblerait que l'alimentation des réserves souterraines

(faibles dans cette région) ne se produisent qu'à partir d'un certain seuil de teneur en eau de la zone hypodermique.

Il y a donc une cohérence certaine entre la nature des divers bassins et le comportement hydrologique du modèle proposé.

Le manque de politique homogène au niveau du choix de l'indice d'ETP ne peut malheureusement pas permettre la comparaison de la fonction de production sur les trois bassins et un effort reste à faire quant à ce choix.

Conclusion

Si, sur le plan opérationnel, les modèles utilisés se montrent différents au niveau de l'application (performance, sensibilité,...), ils restent tous discutables sur le plan conceptuel, puisqu'ils fixent a priori, en l'absence de toute véritable information intermédiaire entre la pluie et le débit, le schéma du cycle hydrologique.

Néanmoins, cette approche a permis de mettre en évidence l'adéquation de certains schémas du cycle hydrologique pour représenter plusieurs bassins, en autorisant une extrapolation temporelle (35 ans sur la DIEGE).

Dans un esprit d'application de ces méthodes à des projets d'aménagement des ressources en eau sans données suffisantes, il resterait à :

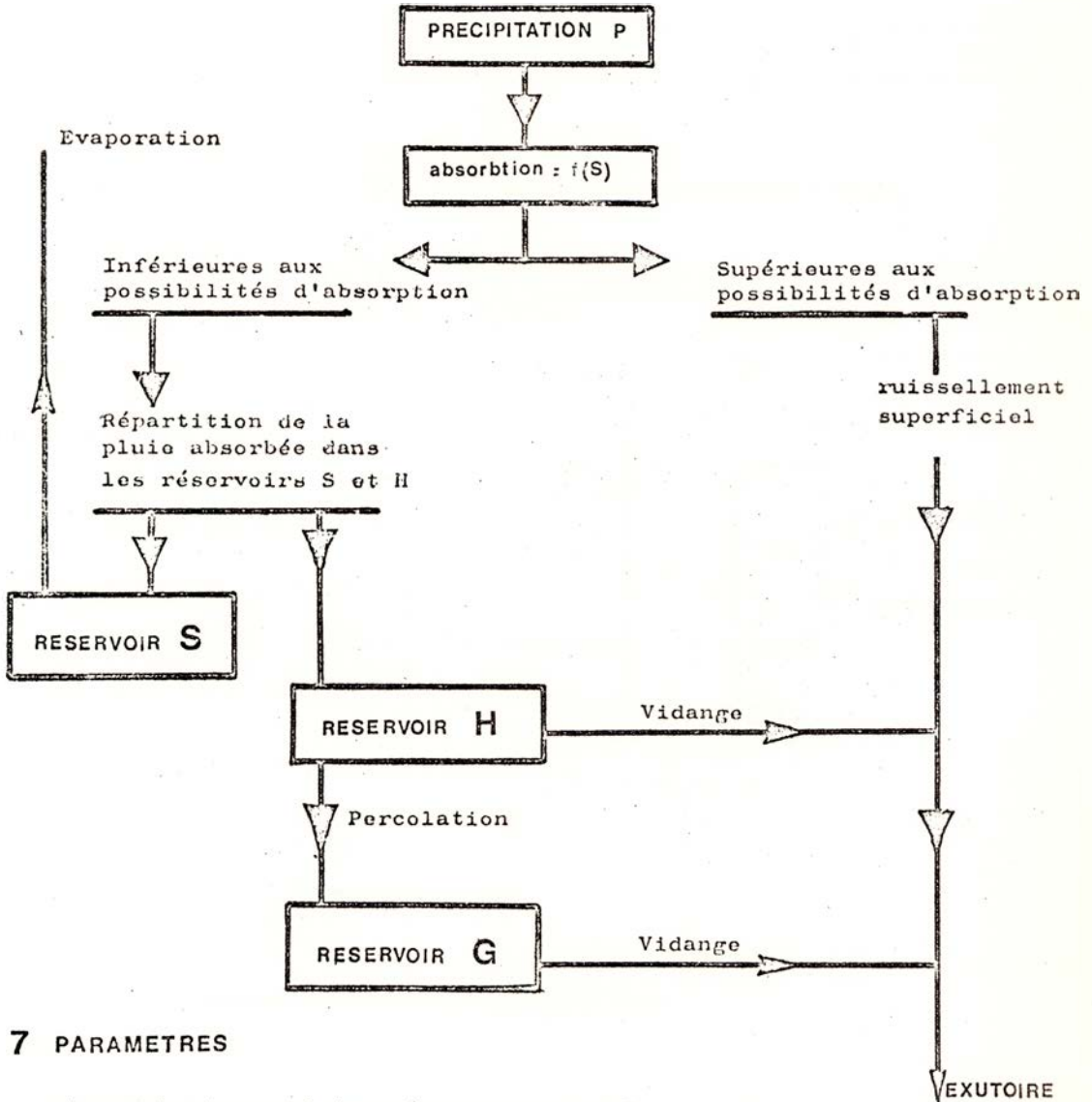
- dégager des groupes de bassins justiciables de chaque schéma
- définir des critères d'adéquation a priori d'un bassin à un schéma déterminé

- caractériser chaque bassin par des index mesurables ou analysables en absence de longues séries de données, et dont la détermination déboucherait sur l'appréciation quantitative des paramètres d'un modèle global.

Ceci permettrait le choix d'un modèle (schéma et valeurs des paramètres) capable de représenter le comportement d'un bassin non jaugé, dont on pourrait, à partir des séries climatologiques disponibles, simuler l'écoulement.

R E F E R E N C E S

- (1) F. AUBIN - A. GUILBOT (note HYD 13/72 et 14/72)
 - Application de l'analyse spectrale - bassin de la DIEGE
 - Influence d'erreurs aléatoires sur la convergence d'une méthode d'optimisation. Tentatives de filtrage des séries chronologiques
- (2) Y. CORMARY - A. GUILBOT (HYD 6/71)
Etude générale de quelques modèles déterministes de relations pluie-débit
- (3) Y. CORMARY - A. GUILBOT (HYD 44/70 - SHF - Nov. 1970)
Méthodes d'optimisation des paramètres des modèles déterministes
- (4) Y. CORMARY - A. GUILBOT (HYD 16/71)
Processus d'optimisation en quatre étapes applicable à la recherche des paramètres des modèles déterministes
- (5) Y. CORMARY - S. RAMBAL (HYD 31/71)
Relations pluie-débit, bassin versant de l'HALLUE à l'échelle journalière et à l'échelle bi-horaire
- (6) Y. CORMARY - G. GALEA (HYD 27/71)
Relations pluie-débit, bassin versant de l'ORGEVAL, à l'échelle journalière
- (7) Y. CORMARY - M. ANGLES (HYD 7/71)
Relations pluie-débit sur le bassin de la DIEGE à l'échelle journalière et à l'échelle bi-horaire
- (8) Y. CORMARY - M. LARINIER (HYD 34/71)
Etudes théoriques des processus d'infiltration, d'évaporation et de drainage. Bibliographie. Schémas d'approche du cycle hydrologique
- (9) Y. CORMARY - M. LARINIER (HYD 33/71)
Utilisation du catalogue des sols pour la prédétermination des paramètres dans les modèles HOLTAN et HAMON
- (10) G. GALEA (thèse de 3ème cycle - 1972)
Etude des relations pluie-débit sur le bassin de l'ORGEVAL
- (11) M. ANGLES (thèse de 3ème cycle - 1972)
Etude des relations pluie-débit sur le bassin de la DIEGE



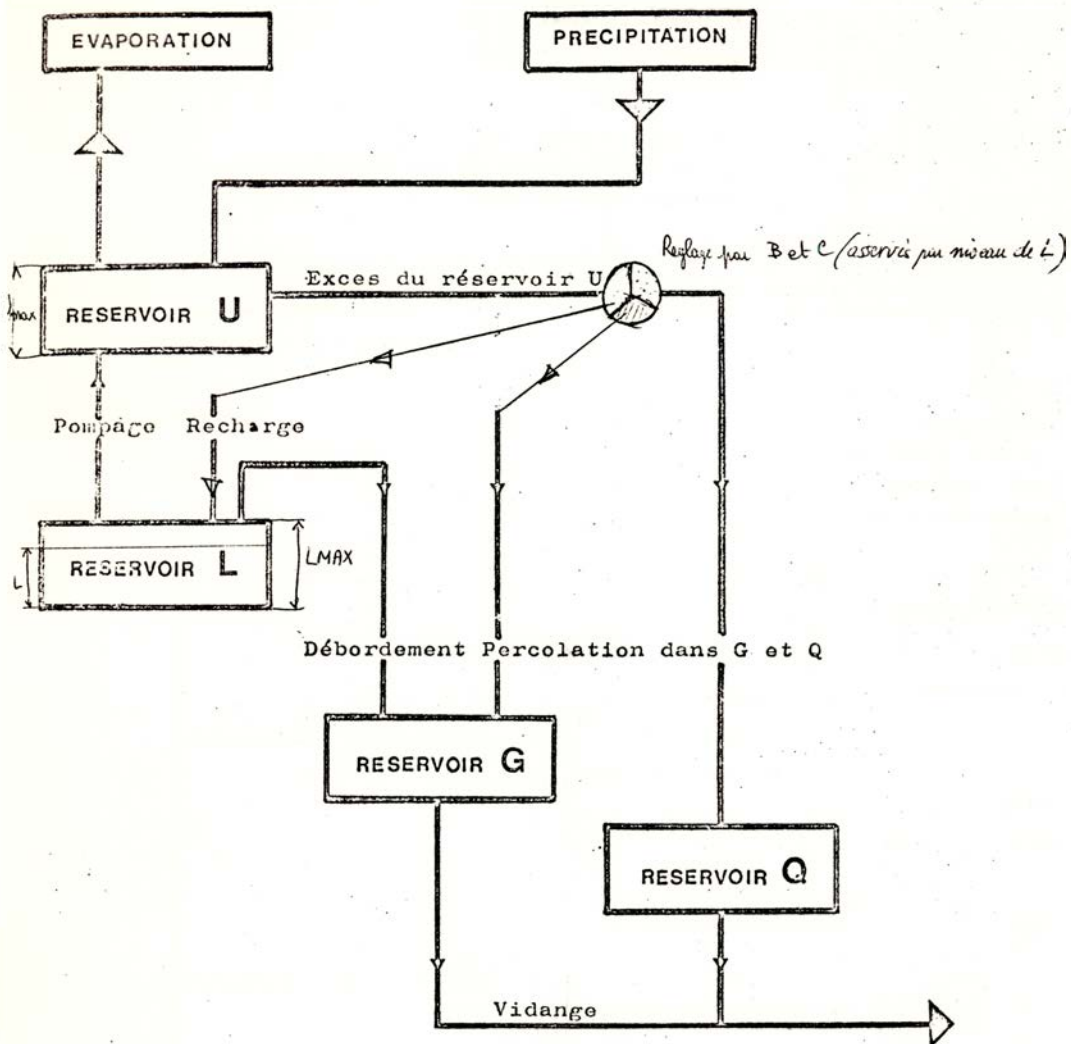
7 PARAMETRES

- x_1 et x_2 tarissement des réservoirs H et G
- x_3 et x_4 répartition de la pluie entre les réservoirs S et H
- x_5 et x_6 alimentation du réservoir G (à partir du réservoir H)
- x_7 réduction de l'E.T.P.

2 paramètres déterminant l'absorption BETA et GAMMA.

MODELE MERO

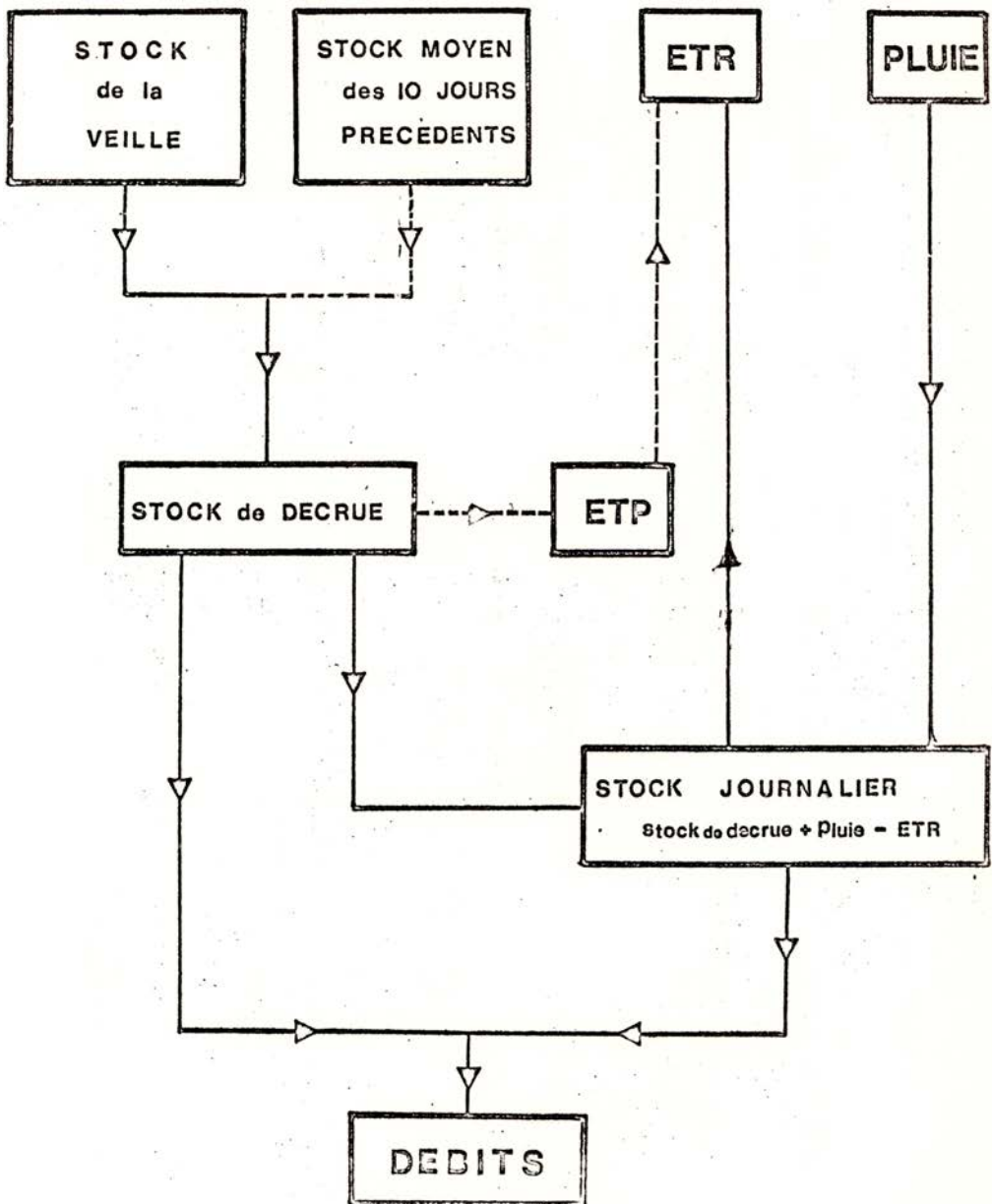
(Ministère de l'Agriculture Israélien)



10 PARAMETRES

- x_1, x_2, x_3, x_4 répartition des surplus entre G, Q et L (*fonction de B et C*)
 x_5, x_6, x_7, x_8 décrue des réservoirs G et Q
 x_9, x_{10} remplissage maximum de U et L
 $(U_{max}) (L_{max})$

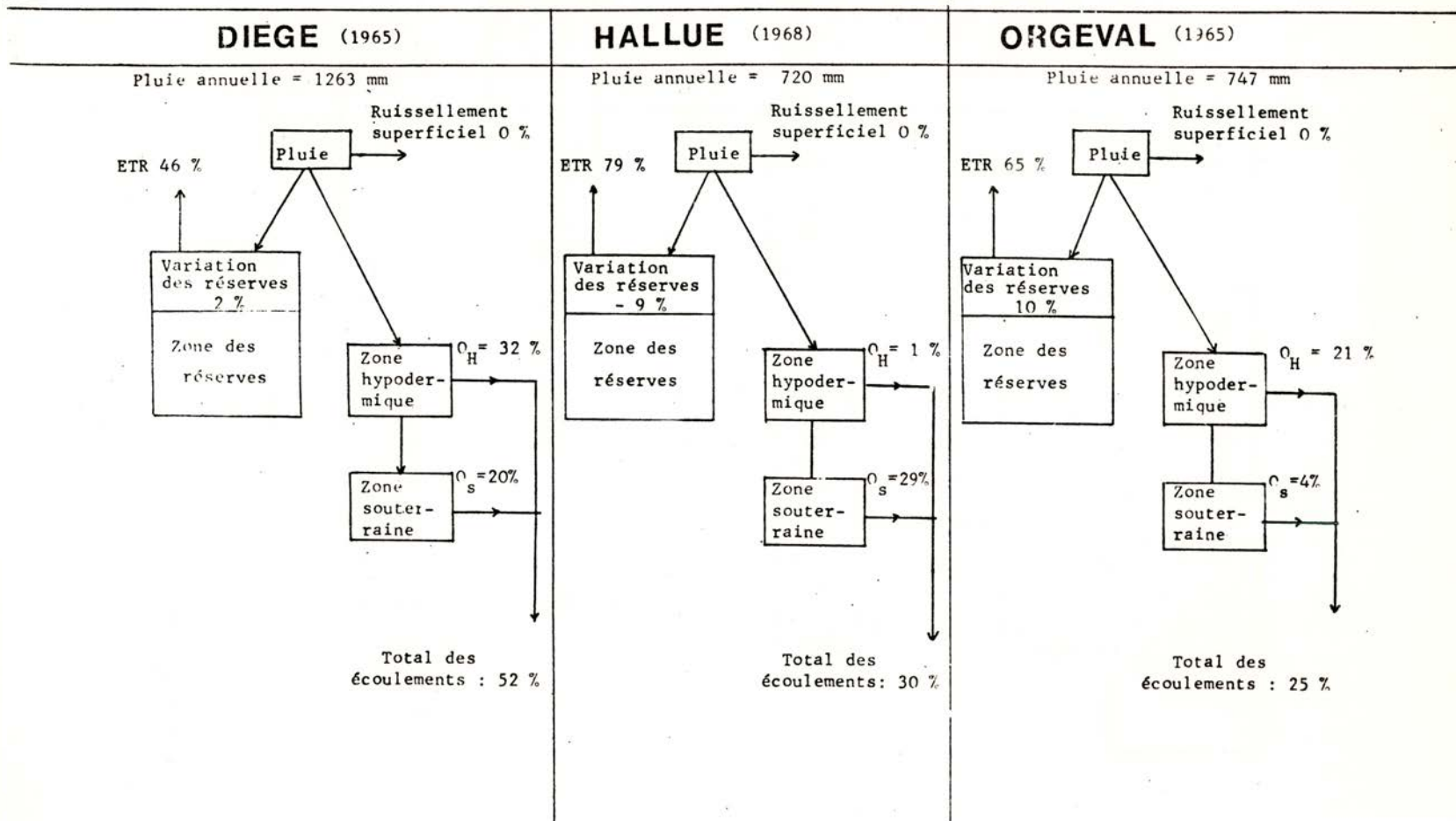
MODELE DIEGE



- 7 PARAMETRES :
- X1, X2, X3 paramètres de décrue
 - X4, X5, X7 paramètres de relation stock-débit
 - X6 paramètre de réduction de l'ETP

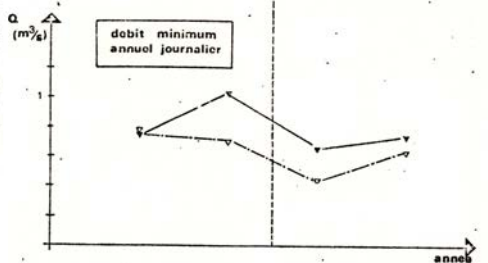
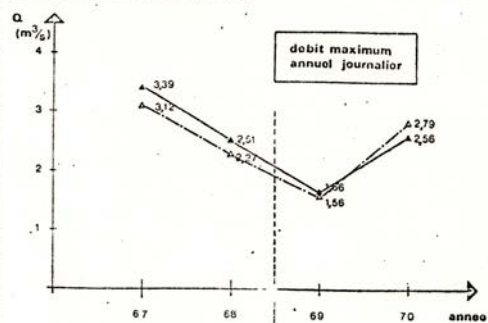
Produit à 3

Les années utilisées ont été choisies en fonction de leur représentativité du comportement moyen des bassins (modules, maximum journalier...)



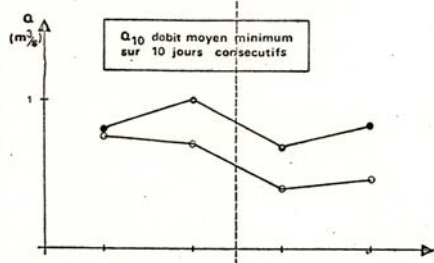
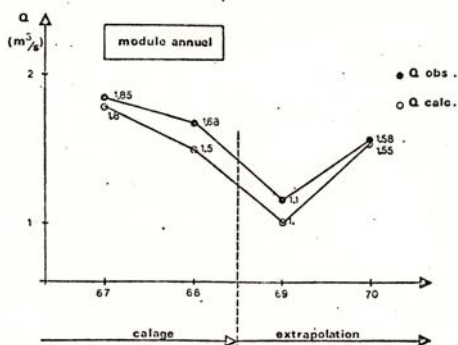
MODELE CREC

CRITIQUE DES DEBITS GENERES



▼ debits observes
 ▼ calculés

MODELE CREC CRITIQUE (suite)

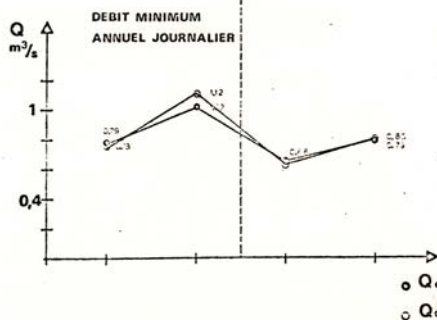
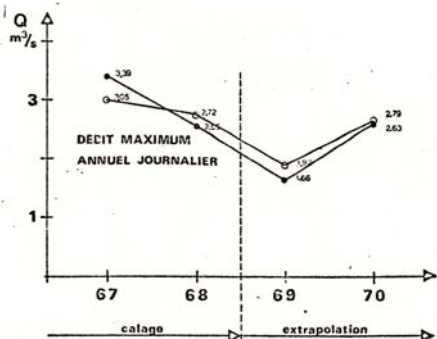


BASSIN DE L'HALLUE

MODELE MERO

critique des resultats

XVIII

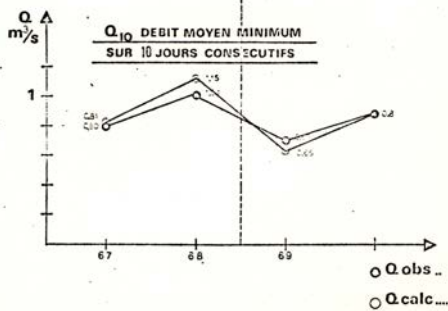
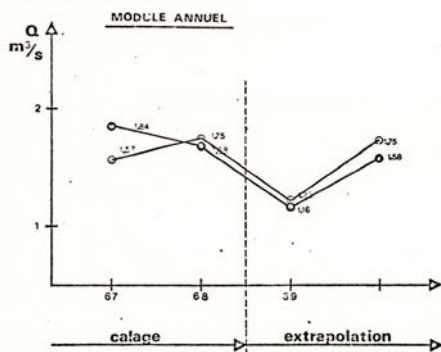


○ Q obs
 ○ Q calc

MODELE MERO

critique (suite)

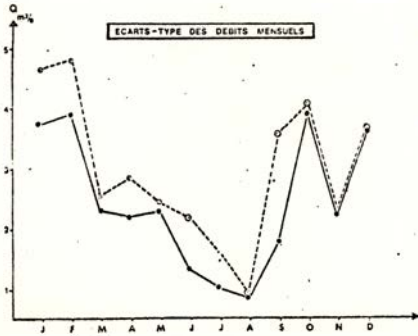
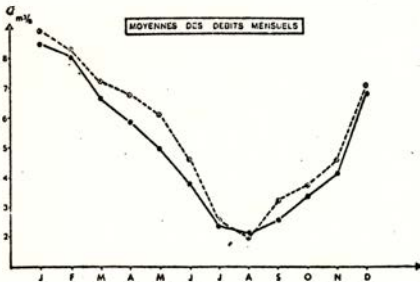
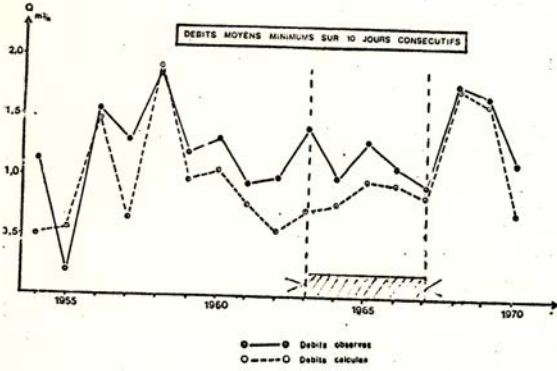
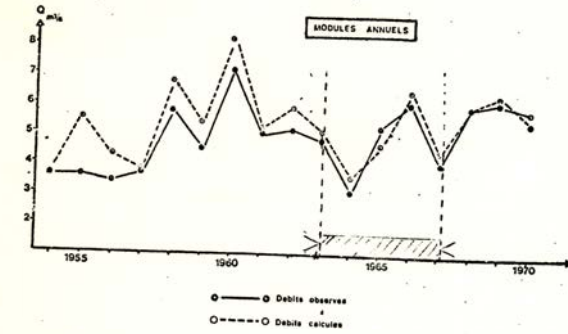
XIX



○ Q obs...
 ○ Q calc...

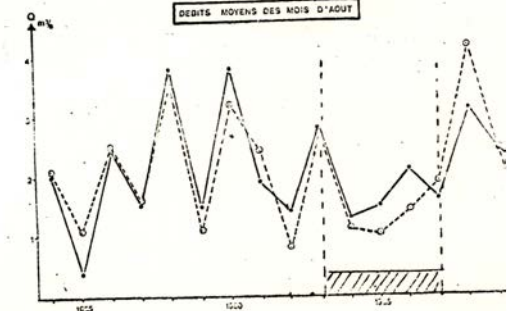
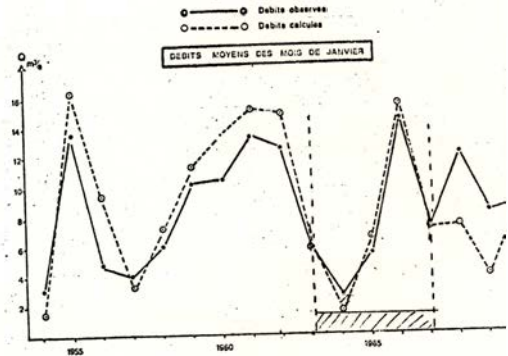
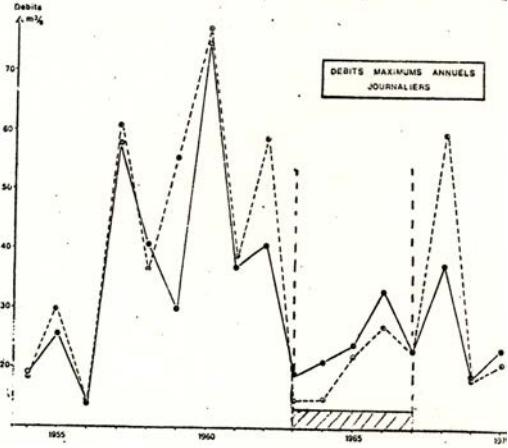
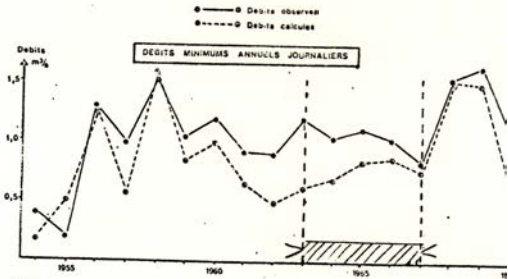
BASSIN EXPERIMENTAL DE LA DIEGE

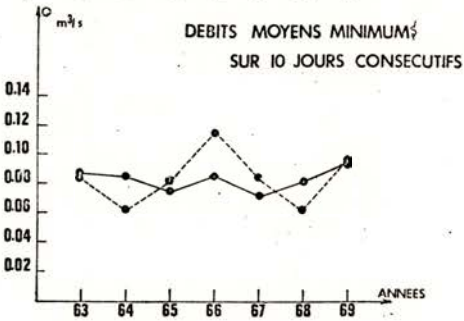
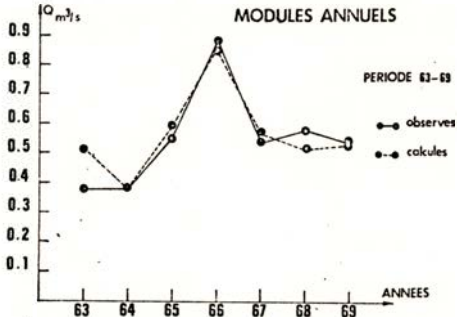
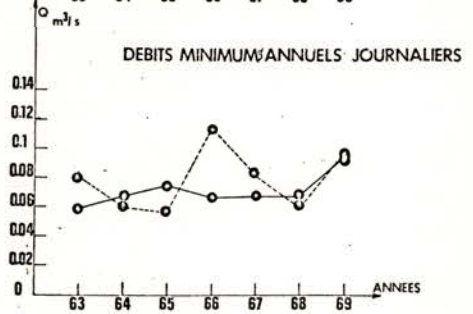
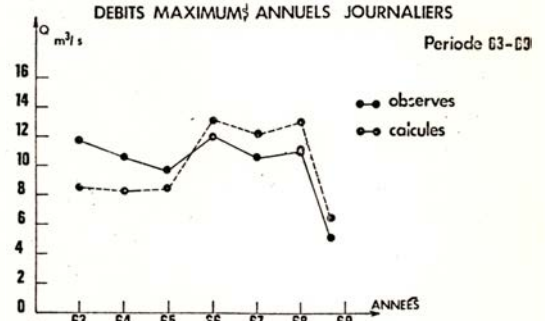
Etude et critique des debits generees sur 1954-1970 avec le jeu de parametres obtenu par calage du modele CREC sur 1963-67 avec la pluviometrie de St Germain-L.



BASSIN EXPERIMENTAL DE LA DIEGE

Etude et critique des debits generees sur 1954-1970 avec le jeu de parametres obtenu par calage du modele CREC sur 1963-67 avec la pluviometrie de St Germain-L.



BASSIN DE L'ORGEVALMODELE CREC
METHODE DE POWELLMODELE CREC
METHODE DE POWELLPériode de calage : 1964 - 1966