



n° 4742

M E M O I R E

UN MODELE POUR LA SIMULATION DES DEBITS JOURNALIERS :

LE MODELE DEJØREG

Par J.H. TLERCELIN
Ingénieur du Génie Rural
des Eaux et des Forêts

et T. LEVIANDIER
Ingénieur du Génie Rural
des Eaux et des Forêts

Division Hydrologie - Hydraulique Fluviale

CENTRE TECHNIQUE DU GENIE RURAL
DES **U**X ET DES FORETS (c.T.G.K.E.F.)

ANTONY

RESUME BIBLIOGRAPHIQUE.

Schématisation des hydrogrammes ; simulation des débits journaliers : par addition de nombres pseudo-aléatoires ; autocorrélation par réutilisation aléatoire des aléas ; calcul des paramètres en fonction des données observées ; application à différents **cours** d'eau ; contrôle sur les statistiques des débits mensuels engendrés.

USTRACT.

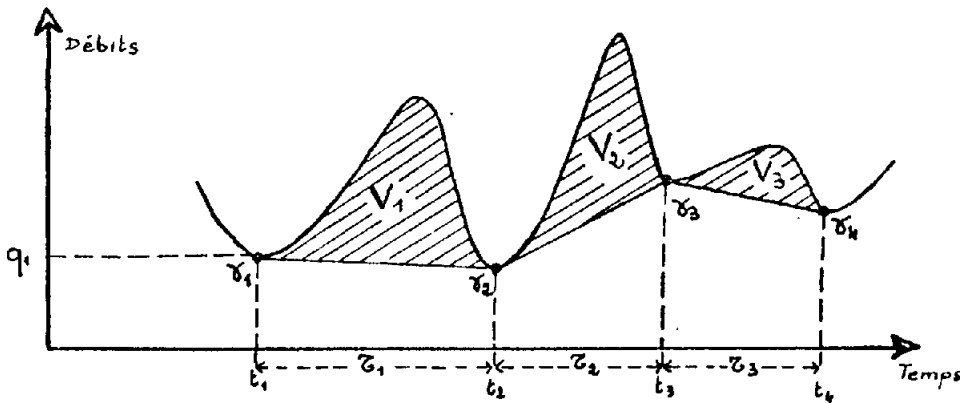
Schematizing of **hydrograms** ; simulation of daily **flows** by addition of random numbers ; autocorrelation by choosing at **random** several times the **same** random numbers ; estimation of parameters in terms of observed data ; application to different rivers ; checking of the model on the statistics of monthly flows generated ; critic of the model.

RESUME DETAILLE.

Ce modèle est purement probabiliste ; il ne fait intervenir que des caractéristiques statistiques des débits observés et fournit des débits journaliers de débits journaliers.

Principe du modèle.

On a analysé géométriquement la succession des débits journaliers observés que l'on possède :



On repère les débits minimums relatifs

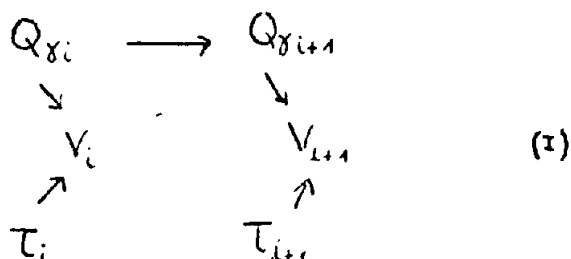
Le débit de la rivière résulte de la "superposition" des débits "de base" déterminés par la succession des segments de droite q_i, q_{i+1} , et des débits "complémentaires", correspondant aux volumes V_1, V_2, \dots, V_N que l'on appelle "réactions".

Lois utilisées.

Les variables Q , T et V sont supposées suivre des lois lognormales approchées : les logarithmes de ces variables sont les sommes d'un nombre fixe de variables pseudo-aléatoires ayant une probabilité uniforme entre 0 et 1.

Liaisons entre les variables.

Elles peuvent se schématiser de la façon suivante :



~~Wiro en owivre.~~

IR nodble se traduit par des programmes FORTRAN

	Programmes	Sorties
Débits :	DEDEJØ	Caractéristiques observées des réactions Q_i , T_i , V_i (sur fichiers magnétiques et sur imprimante).
Sorties	SIM 7	Sur imprimante : paramètres du modèle, statistiques théoriques et réelles des débits simulés ; sur imprimante et/ou sur fichier magnétique : débits simulés.
Débits : ou débi: simulés	DEBMØ	Moyennes, variances, autocorrélations.
Sorties	TSI 4	Test du chi 2 sur les logarithmes de Q , T , V .

Champ d'application du modèle DEJØREG.

On peut faire les remarques suivantes, compte tenu des cas concrets traités et du principe de la méthode.

- Le modèle DEJØREG convient pour simuler des apports en eau en vue de la simulation hydraulique, mais ne peut pas être utilisé pour faire de la prévision de débits ou pour estimer des chroniques historiques de débits non observés. De plus ce modèle a été fait dans le but de définir des apports en eau, et non dans celui de satisfaire à la description de débits extrêmes (crues ou étiages).
- Compte tenu des applications du modèle déjà effectuées (Vosges, Vivarais, Pyrénées). Il ne semble pas y avoir de restriction sur le plan des régimes hydrologiques, sinon pour des petits bassins humides.
- Les limitations en durée pour les chroniques aussi bien du point du vue théorique (bouclage de la simulation) qu'économique (coût des stockages des débits simulés) semblent être bien au-delà des besoins usuels (100 ans). Il est à noter cependant que 100 ans de débits simulés sur cartes occupent déjà un volume important.

Il est important de signaler qu'une série de données simulées par de tels modèles probabilistes, quelle que soit sa durée, n'apporte aucune information complémentaire à celle fournie par les données observées. Il s'agit simplement d'une "dilatation" de ces dernières. Autrement dit, pour améliorer la connaissance d'un régime hydrologique, seules les techniques d'observation (hydrométrie, pluviométrie) créent de l'information.

AVANT - PROPOS

Ce travail fait le point des recherches menées depuis plusieurs années sur le sujet Ponctuellement la simulation des débits journaliers d'un cours d'eau.

La résolution satisfaisante de ce problème est d'un tel intérêt pratique pour un grand nombre de projecteurs d'aménagement des eaux de surface qu'il était nécessaire de s'y atteler dans le cadre du Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts, dont la Division Hydrologie a pour mission d'apporter un appui technique aux services confrontés avec l'utilisation des ressources en eau.

INTRODUCTION.

Dans un grand nombre de cas, la simulation des débits constitue un moyen usuel de résoudre certains problèmes d'aménagement des ressources en eau et n'est vraiment utile que si elle est continue tout au long de l'année et à pas de temps journalier. Le contexte pratique dans lequel se situe la présente étude est exposé en /6/, il ne paraît donc pas utile d'y revenir ici.

Tout modèle mathématique d'un phénomène physique peut prétendre en effectuer une simulation. C'est la simulation discrète qui nous intéressera dans la suite, autrement dit la construction d'un modèle qui répond à une suite ordonnée dans le temps d'impulsions provenant d'un tirage aléatoire.

Les techniques informatiques conduisent en réalité à calculer les termes d'une suite (au sens mathématique du terme) parfaitement déterministe et qui redonne évidemment les mêmes valeurs si on recommence le calcul avec les mêmes valeurs initiales, mais qui satisfait aux mêmes tests qu'une suite de variables aléatoires ; généralement, et ce sera le cas ici, il s'agit d'une suite de variables aléatoires indépendantes de loi uniforme sur l'intervalle $0, 1$.

Le problème consiste donc à décomposer la ou les variables "sortant" du modèle en variables qui suivent des lois plus simples, elles-mêmes obtenues à partir de la loi uniforme. La chronique des variables de sortie doit constituer un processus équivalent au processus des grandeurs physiques correspondantes que l'on connaît par un échantillon de valeurs observées. Il faut donc calculer les paramètres des lois du modèle en fonction des statistiques des valeurs observées (ici des débits). Ce calcul des paramètres peut être partiellement ou totalement un réglage obtenu en faisant varier ces paramètres au cours de simulations successives jusqu'à ce que les statistiques des débits simulés coïncident au mieux avec les statistiques de l'échantillon. Mais ces paramètres peuvent aussi, dans certains cas, être entièrement déterminés par le calcul des probabilités, ce qui offre l'avantage de diminuer le temps machine nécessaire à la simulation. C'est ce qui a pu être fait ici grâce à l'emploi de lois de probabilité présentant des propriétés mathématiques intéressantes.

C'est pourquoi, après une brève description du modèle, l'exposé qui suit s'attardera sur l'étude mathématique appliquée à la simulation de certaines lois de probabilité, des plus simples aux plus complexes.

Le calcul des paramètres est en lui-même insuffisant. Il est en effet généralement possible de les régler, surtout s'ils sont nombreux, sans que le modèle soit pour autant fidèle. Un moyen de contrôle est de chercher si la simulation respecte certaines propriétés des débits observés qui n'ont pas été explicitement prises en compte dans la détermination des paramètres (dans un modèle de prévision on vérifierait l'adéquation du modèle en dehors de la période de calage). Ici, comme le modèle est à pas de temps journalier, la vérification se fera sur les débits mensuels calculés sur les débits journaliers engendrés par le modèle. Un long développement mathématique sera donc consacré à établir les statistiques mensuelles en fonction des paramètres du modèle, ce qui permet en outre de vérifier la programmation. On trouvera ensuite les résultats obtenus sur plusieurs rivières.

6. CONCLUSIONS.

6.1. Champ d'application du modèle.

Les résultats qui viennent d'être donnés portant **sur** des cours d'eau assez différents permettent déjà de porter un jugement **sur** les conditions d'application du modèle.

Un point **très** important en pratique est que le modèle permet de simuler les débits d'une rivière perturbée par des **aménagements**, prises et rejets, pourvu que les deux conditions suivantes soient remplies :

- homogénéité de l'influence de ces perturbations tout au long de la période d'observation des débits qui doit servir à caler le modèle ;
- perturbations à petite échelle de temps d'amplitude limitée, pour ne pas bouleverser le schéma qui est à la base du modèle (figure 1).
- indépendance des réactions successives, ce qui peut poser des problèmes lorsque la grande variabilité des débits (**sur** un petit bassin par exemple) conduit à des points λ_i **trop** nombreux et rapprochés.

L'application à la Doller et à l'Eyrieux se révèle assez satisfaisante quant au contrôle par les moyennes et les **variances** mensuelles obtenues, alors même que l'adéquation des lois de probabilité utilisées n'est **pas** très bonne (et même assez mauvaise pour les volumes **complémentaires**). Les coefficients d'autocorrélation des débits moyens décennaux sont en général trop faibles surtout pour les faibles valeurs.

Pour l'Eyrieux, la variation rapide du régime entre août et octobre conduit à rajouter à la courbe de tendance annuelle et à découper en au moins 5 périodes dont une pour le seul mois de septembre qu'il est difficile de rattacher, soit à août, soit à octobre.

Il faut aussi noter que la variabilité du phénomène **observé** et simulé en automne est telle que deux séries de 100 ans peuvent avoir des écarts types **très** sensiblement différents et **qu** la pointe d'écart type d'octobre sur la série observée peut très bien disparaître dans une série simulée ou apparaître en novembre ou décembre si ces trois mois sont réunis en une seule période.

Si on fait confiance au modèle, et à la **réserve** près que toutes les séries de nombres pseudo-aléatoires ne sont pas d'aussi bonne qualité, toutes les séries obtenues sont aussi vraisemblables, mis il n'est pas interdit de faire plusieurs essais et d'en choisir une présentant des écarts types assez proches de ceux de la série observée ou des valeurs théoriques.

Une limite du modèle apparaît dans l'application à la station du The51 sur l'Orgeval (Bassin versant de 100 km²). Le modèle sous-estime de 1/2 les écarts types de janvier et décembre.

Il semble que l'on puisse imputer entièrement cette différence h l'autocorrélation des réactions successives qui n'est pas prise en compte dans le modèle.

Outre que ce type de bassin serait certainement plus facile à étudier avec un modèle pluies - débits, on pourrait remédier à cet inconvénient de plusieurs façons :

- 1) introduire la liaison **dans** le modèle. La difficulté principale ne serait pas cette introduction proprement dite mais le calcul de la nouvelle variance théorique ;
- 2) modifier le découpage en supprimant certains points λ , selon une règle à définir pour obtenir des réactions plus longues. Il faudrait **alors** aussi affiner la répartition des débits journaliers à l'intérieur de la réaction ; la rendre multimodale et utiliser un simple tirage au hasard dans un échantillon de formes données serait peut-être suffisant ;
- 3) **pour** chaque saison ou tout au moins, pour chaque saison où ce problème se pose, faire des calculs distincts pour une saison sèche et une saison humide et, **lors** de la simulation, se placer par tirage aléatoire dans l'un ou l'autre cas.

6.2. Nécessité éventuelle de certaines modifications.

En plus des modifications précédentes suggérées par les résultats du modèle sur l'Orgeval et de la programmation de la prise en compte d'informations extérieures (statistiques mensuelles), on peut envisager certaines modifications dues à des exigences pratiques ou à **des régimes** hydrologiques particuliers. On peut déjà entrevoir les modifications suivantes dans l'ordre de complexité croissante :

1) Modifications mineures.

- Répartition autre que triangulaire des **débits journaliers** d'une réaction.
- **Changement** de la tendance générale du processus des débits de base.

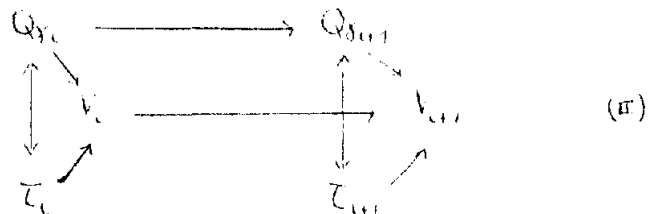
Il existe **une** solution théorique à ce problème : la décomposition de la tendance en série de FOURIER. Cette solution est certainement très efficace dans le cas de longues séries d'observations, ou bien dans le cas où l'on saurait dégager, à l'échelle d'une région ou d'un type de régime hydrologique, des valeurs **générales** et des relations entre les paramètres de la série de FOURIER.

Par contre, avec de courtes séries d'observations (moins de 10 **ans** par exemple), on peut s'attendre à ce que l'ajustement d'une série de **FOURIER** aux observations donne à peu près n'importe quoi, au **gré** des erreurs d'échantillonnage (**mise** à part la sinusoïde fondamentale qui, en raison de sa forte amplitude, aura probablement des caractéristiques acceptables).

C'est pour cette dernière raison que, suivant en celh l'opinion de certain spécialistes d'hydrologie 3tntjntique tels que M. BERNIER à Electricité de France, nous avona **jugé** préfrkrable de rechercher une fonction périodique non sinusoidale adaptée à la station étudiée. Il s'avère que la tendance retenue dnns 1a présente Btude est tout-&-fait valable pour une des rivières dtudiées, et est probablement utilisable pour beaucoup d'autres.

Si cette courbe ne convient pas, on peut en chercher une autre. Rappelons **pour** éviter des essai.3 multiples qu'il est possible u'utili- ser une courbe en 12 segments de droite.

- 2) D'autres modifications sont envisageables **qui** n'affecteraient pas trop la simulation proprement dite mais changeraient beaucoup le calcul des écarts types théoriques.
- On pourrait; définir les volumes complémentaires non plus **par** des paramètres saisonniers **mais** par une courbe de tendance **annuelle** (comme pour les débits de base) ; ceci serait; justifié **quand** le dabit complémentaires est, d'une part très **variable** d'un mois à l'autre, **d'autre** part du **même** ordre de grandeur que le débit de base (cas de l'automne pour l'Eyrieux).
 - On pourrait modifier les liaisons entre variables, prendre en compte la liaison entre Q_c et τ et selle entre les V successifs, mais 1a simulation selon le schédkerait plus difficile.



Il serait alors préfrdrable d'utiliser las techniques multivarjnhles de composantes orthogomles.

- 3) Des modifications **plus** profonLes équivaudraient **h** construire un autre modèle. Renoncer aux lois lognomles **par** exemple, qui, répétons-le, représentent parfois assez **mal** la réalité, imposerait une programmation tout-&-fait différente.

6.3. Autres possibilités en matière de débits journaliers.

Les perfectionnements possibles du modèle DEJØREG ne doivent pas faire oublier qu'il existe une autre voie plus déterministe.

Une première @tape de ce passage est concrétisée par le modèle PLUDEBAL /4/ qui permet la simulation des débits Journaliers à partir d'épisodes pluvieux. Ce modCle **reste** partiellement probubilink.; ce qui lui conserve toute sa souplesse pour les applicationu pratiquon.

Même lorsque l'information pluviométrique n'améliore pas notablement la connaissance des débits, il peut être intérénsmt dans certriines appli- cations (irrigation) ne simuler des st5rir.c. concomitantes do pliiier: et: de débits.

<u>RESUME BIBLIOGRAPHIQUE</u>	<u>Pages</u>
<u>RESUME DETAILLE:</u>	1
<u>AVANT-PROPOS</u>	3
<u>INTRODUCTION</u>	4
1. PRESENTATION DU MODELX	5
1.1. Origine	5
1.2. Schernatisation de l'écoulement	5
1.3. Description probabiliste du modèle	6
1.4. Tendence générale des débits de base	7
1.5. Simulation	7
1.6. Problème du découpage saisonnier	8
2. LA CHAINE DE PROPAGATION	8
3. ETUDE MATHEMATIQUE DES LOIS UTILISEES	9
3.1. Les lois N_a et LN_m	9
3.2. Calcul de la densité de probabilité	10
3.3. Calcul des probabilités de non dépassement	14
3.4. Simulation d'une variable LN_m de moyenne et d'écart type composé	15
3.5. Simulation de deux variables liées suivant chacune une loi LN_m	16
3.6. Simulation d'un processus de loi marginale LN_m	17
3.7. Simulation d'une variable Y liée à plusieurs autres T_i	19
3.8. Simulation de plusieurs variables Y_j indépendantes liées à plusieurs autres T_i	x)
4. SIMULATION DES DEBITS JOURNALIERS	21
4.1. Ajustement de la tendance	21
4.2. Estimation des paramètres saisonniers	21
4.3. Calcul des paramètres mensuels en fonction des paramètres du modèle	24
4.4. Ajustement des paramètres du modèle à des moyennes et variances mensuelles composées	31
4.5. Considérations générales sur la méthode de calcul	31
5. RESULTATS DES TRAITEMENTS	33
6. CONCLUSIONS	40
6.1. Champ d'application du modèle	40
6.2. Nécessité d'éventuelles modifications	41
6.3. Autres possibilités en matière de débits journaliers	42
<u>REMERCIEMENTS</u>	
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	
<u>SOMMAIRE</u>	