CALCUL DES DÉBITS DANS LES RÉSEAUX D'IRRIGATION

PAR

J. DE BOISSEZON *

ET

J.-R. HAIT **

Le calcul des débits à prendre en compte pour le dimensionnement des réseaux collectifs d'irrigation par aspersion à la demande, a fait l'objet, il y a dix ans, d'une étude de R. Clément, Ingénieur en chef du Génie rural. Cette étude a abouti à la formule maintenant classique :

$$d = d_0 \,(np + u\sqrt{nqp}) \ (^*)$$

Cette formule est très généralement utilisée par les divers auteurs de projets. Les conditions d'utilisation diffèrent toutefois d'un bureau d'études à l'autre, montrant ainsi certaines difficultés d'application de cette méthode.

L'utilisation de plus en plus fréquente de l'ordinateur, aussi bien pour l'établissement des études agronomiques que pour celui des dossiers de projets, nous a conduits à rechercher un mode de calcul qui utilise au mieux les possibilités des calculatrices et évite ainsi les difficultés inhérentes au calcul traditionnel.

En s'appuyant sur une analyse rigoureuse des données agronomiques qui interviennent dans le calcul, cette recherche nous a conduits à une extension de la méthode proposée par R. Clément, et aboutit à la formule :

$$d = \Sigma p'_i d_i + u\sqrt{\Sigma\, p'_i q'_i d_i^2}$$

Une telle formule est d'une utilisation facile à l'ordinateur et permet un calcul rigoureux des débits à prendre en compte.

Supposant connus le détail et la justification du mode de calcul proposé par R. Clément, nous indiquerons brièvement son utilisation actuelle.

Nous exposerons ensuite les données de base agronomiques que l'on peut utiliser pour un calcul mené à l'aide de l'ordinateur.

Enfin, nous justifierons le choix du mode de calcul préconisé.

Utilisation de la méthode de R. Clément

De par la simplicité de la formule résultante, la méthode de R. Clément se prête bien au calcul manuel. L'établissement d'abaque est facile.

---

* Ingénieur civil du G.R. SO.GR.E.A.H.

** Attaché de recherches C.N.R.S.

(*) R. Clément. — Note sur le calcul des débits dans les canalisations d'irrigation. Association Française pour l'étude des irrigations et du drainage, 1955 :
d = débit de la canalisation;
d_0 = débit d'une prise;
n = nombre de prises;
u = coefficient qui varie avec la probabilité de satisfaction de la demande;
p = fréquence de fonctionnement des prises;
q = $1 - p$.

Les prises sont supposées avoir un débit identique et une fréquence de fonctionnement identique (*).

L'application de la formule de Clément permet une sommation statistique des débits appelés pour une probabilité de satisfaction donnée. Cette sommation est rigoureuse si les demandes individuelles sont indépendantes et si leur nombre est grand.

En fait :

— les prises n'ont pas un débit identique;
— leur fréquence de fonctionnement diffère;
— les demandes ne sont pas rigoureusement indépendantes;
— le nombre de prises est souvent faible.

Un certain nombre d'artifices permet cependant au projeteur d'arriver à un calcul raisonnable en modifiant de manière plus ou moins empirique la méthode originelle. Citons par exemple les ajustements suivants :

— Si les prises et les fréquences de fonctionnement ne sont pas identiques, on applique le même calcul pour des sous-populations de prises d'égal débit ayant des fréquences de fonctionnement voisines;
— Dans les périmètres où la diversité des prises est forte, on applique en fait la pondération seulement à l'origine des réseaux. C'est-à-dire que les canalisations sont calculées suivant une loi d'addition. La station de pompage, la tête morte et éventuellement une partie de la conduite maîtresse, sont calculées suivant la formule de Clément;
— Certains projeteurs adoptent une probabilité de satisfaction élevée en bout de conduite et plus faible à l'origine du réseau;
— D'autres projeteurs multiplient les débits obtenus par un coefficient qui décroît de l'extrémité à l'origine du réseau;
— D'autres enfin admettent, en se basant sur l'observation de réseaux récemment réalisés, que les demandes ne sont pas indépendantes et utilisent la loi d'addition;
— Dans les périmètres où une part importante de culture non irriguée entre dans l'assolement, on doit tenir compte du risque de concentration des irrigations en chaque point du réseau. C'est-à-dire que, si l'on connaît le taux d'irrigation (**) moyen d'une zone, il faut cependant admettre que ce taux peut être localement plus élevé.

Pour résoudre cette dernière difficulté, certains auteurs de projets fixent, lors de l'étude préliminaire, une loi de variation de ce taux en fonction de la superficie équipée desservie par une même canalisation.

Certains admettent que le risque annuel de mise à l'irrigation de chaque superficie élémentaire (nombre d'années où cette superficie est mise à l'irrigation dans une période donnée) est régi par le hasard. Il est donc possible, en appliquant aux superficies élémentaires le raisonnement que R. Clément applique aux débits, de calculer dans un ensemble donné, le taux d'irrigation avec une probabilité de satisfaction choisie.

L'application d'une pondération type Clément au risque annuel de mise à l'irrigation, est justifiée si les superficies élémentaires sont identiques et si les risques de mise à l'irrigation sont égaux.

Lorsqu'il n'en est pas ainsi, cette pondération n'est qu'une approximation.

Ces différentes modalités d'utilisation montrent que la formule de R. Clément, si pratique soit-elle, ne suffit plus au calcul des projets. Des perfectionnements sont donc à rechercher :

— sur le plan mathématique pour prendre en compte des données diversifiées;
— sur le plan agronomique, pour éviter d'appliquer à des ensembles hydrauliques, des moyennes qui concernent des ensembles agronomiques différents.

Recherche d'une méthode nouvelle

Les difficultés rencontrées dans le calcul des débits résultent donc de la diversité des caractéristiques des prises et du grand nombre des informations agronomiques à prendre en compte.

L'utilisation de l'ordinateur permet de résoudre ces difficultés car, d'une part, on peut, lors des études préliminaires, prendre en compte avec précision ces caractéristiques agronomiques qui concernent chaque îlot d'irrigation (*), d'autre part, on peut envisager un calcul des débits plus complexe sans inconvénients.

Définitions

Pour aboutir à un tel calcul, il faut définir les phénomènes élémentaires concernés et leurs caractéristiques, puis en déduire le raisonnement mathématique applicable.

Les îlots d'irrigation peuvent être classés en fonction de deux critères qui sont le taux d'irrigation et le risque de mise à l'irrigation :

LE TAUX D'IRRIGATION :

Le taux d'irrigation $T = S_i/S_e = S_i/S_{AU}$ est égal au rapport de la Superficie irriguée à la Superficie équipée. Cette dernière est, sauf cas particulier, prise égale à la Superficie Agricole Utile.

LE RISQUE DE MISE A L'IRRIGATION :

Le risque de mise à l'irrigation α est égal au rapport du nombre d'années où l'îlot est mis à l'irrigation au nombre d'années envisagé.

Les îlots sont divisés en deux catégories :

— catégorie A,
— catégorie R.

Les îlots de la catégorie A sont caractérisés par un taux d'irrigation constant d'une année sur l'autre. Soit ils sont irrigués en totalité en permanence (vergers), (le taux d'irrigation est de 100 %), soit

(*) La fréquence de fonctionnement est le terme couramment utilisé pour désigner la durée relative de fonctionnement. Nous conserverons ce terme, devenu classique, dans notre exposé.

(**) Le taux d'irrigation T est égal au rapport de la superficie irriguée à la superficie équipée $T = (S_i/S_e)$.

(*) L'îlot d'irrigation est la superficie desservie par une prise.

ils font l'objet d'un *assolement intérieur à l'îlot* comportant des cultures sèches, le taux d'irrigation est fonction de l'assolement choisi. Le risque de mise à l'irrigation est toujours égal à 1.

Les îlots du type R sont caractérisés par un changement d'affectation culturale. Ce sont de petits îlots isolés faisant partie d'une exploitation plus grande. Les cultures s'y succèdent en fonction de la rotation choisie, chacune des cultures occupant successivement la totalité de la superficie de l'îlot. C'est dire que ces îlots seront, soit irrigués en totalité certaines années, soit non irrigués d'autres années. Le risque de mise à l'irrigation est fonction de la rotation adoptée.

En résumé, les îlots peuvent être définis de la manière suivante :

	Valeur de T	Valeur de α
A Irrigation à taux constant assolement intérieur....	$\leqslant 100\ \%$	1
R Irrigation totale ou nulle, rotation d'une année sur l'autre.	100 % ou 0 %	$\leqslant 1$

La distinction entre les deux types d'îlots est quelquefois plus nuancée, mais on verra plus loin que T et α interviennent de la même manière dans le calcul des débits. On peut donc, si nécessaire, prendre simultanément pour T des valeurs inférieures à 100 et pour α des valeurs inférieures à 1.

Le débit d'équipement d'une prise :

Ce débit est choisi parmi les débits normalisés pour couvrir les besoins des agriculteurs, c'est-à-dire pour assurer la totalité du besoin probable des plantes irriguées les plus consommatrices, sur la totalité de la Superficie Agricole Utile (S_{AU}) de l'îlot pendant le temps où l'exploitant peut effectivement irriguer, compte tenu notamment de son matériel d'arrosage. C'est dire que l'on suppose, à l'îlot, un taux d'irrigation $S_i/S_c = 100\ \%$, avec une durée journalière d'irrigation de 16 heures par exemple en pointe. Cette durée journalière d'arrosage en pointe peut être modifiée pour tenir compte des modalités d'arrosage de chaque exploitant.

Fréquence de fonctionnement d'une prise :

C'est le rapport du temps de fonctionnement nécessaire pour satisfaire les besoins des plantes, au temps de fonctionnement du réseau pendant la période de pointe.

Cette définition appelle différentes précisions :

Les besoins et les taux d'irrigation pris en compte dans le calcul des débits des canalisations, tiennent compte de l'assolement prévu.

L'assolement retenu est celui qui correspond, d'après l'étude préliminaire, à l'optimum économique vers lequel doit évoluer l'exploitation intéressée. Ce choix réduit sans doute à l'avenir la liberté de l'utilisateur, mais cette réduction (souvent très faible), est en définitive favorable à l'économie de l'exploitation.

Le temps de fonctionnement du réseau correspond en principe à la durée de fonctionnement réel de l'installation collective d'arrosage en pointe. La valeur est souvent proche de 24 h/24, sauf lorsque les circonstances climatiques interdisent l'arrosage à certaines heures de la journée. En fait on admet souvent que le temps de fonctionnement du réseau n'est pas égal à 24 h/24. On introduit ainsi un coefficient de sécurité qui couvre le fait que les demandes ne sont pas rigoureusement indépendantes.

On admet ainsi que la présentation de la demande pendant la période de pointe journalière, est peu différente de celle qui se produirait si les demandes étaient indépendantes et se produisaient en totalité pendant le temps de fonctionnement théorique du réseau.

Les études préliminaires définissent donc ces diverses données pour chaque îlot, et fournissent au programme de calcul des débits :

- le débit de chaque prise : d_i;
- la fréquence de fonctionnement de chaque prise : p_i;
- le risque de mise à l'irrigation de chaque prise : α_i.

Cette définition précise des caractères de chaque îlot évite les difficultés dues à l'application, à chaque calcul élémentaire, de données de base moyennes pouvant se trouver localement en contradiction avec la réalité.

Exposé de la méthode de calcul

Afin d'aboutir à un mode de calcul pratique, nous définirons d'abord le terme de base du calcul qui est la probabilité p_i qu'une prise soit en fonctionnement.

Nous définirons ensuite le calcul direct du débit d d'une canalisation. Nous verrons enfin comment l'approximation par la loi normale permet de simplifier le calcul et d'arriver à une expression plus simple du débit, et comment le risque de mise à l'irrigation peut être pris en compte.

Choix de p_i :

Considérons m prises branchées sur la canalisation. Chaque prise i a ses paramètres propres λ_i, μ_i, d_i :

λ_i : fréquence moyenne de demande;

$\dfrac{1}{\mu_i}$: durée moyenne de fonctionnement de la prise;

d_i : débit de la prise i.

Nous nous placerons dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire durant le mois de pointe.

Nous supposerons en outre, qu'au cours de cette période, le fait qu'une prise soit utilisée est indépendant de l'état des autres prises.

Enfin posons :

- probabilité qu'il y ait une demande de la prise i dans $(t, t + dt) = \lambda_i dt$;
- probabilité qu'il y ait un arrêt de service de la prise i dans $(t, t + dt)$ sachant que i était en service $= \mu_i dt$.

Les équations différentielles d'état pour la prise i s'écrivent :

$$\begin{cases} p_i(t+dt) = (1-\mu_i dt)\, p_i(t) + \lambda_i dt q_i(t) \\ q_i(t+dt) = \mu_i dt p_i(t) + (1-\lambda_i dt)\, q_i(t) \end{cases}$$

soit :

$$\begin{cases} \dfrac{p_i(t+dt)-p_i(t)}{dt} = -\mu_i p_i(t) + \lambda_i q_i(t) \\ \dfrac{q_i(t+dt)-q_i(t)}{dt} = \mu_i p_i(t) - \lambda_i q_i(t) \end{cases}$$

soit quand $dt \rightarrow 0$:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_i(t)}{dt} = -\mu_i p_i(t) + \lambda_i q_i(t) \\ \dfrac{dq_i(t)}{dt} = \mu_i p_i(t) - \lambda_i q_i(t) \end{cases}$$

avec :

$p_i(t)$ = Probabilité P_r de fonctionnement de la prise i à l'instant t.

$q_i(t)$ = Probabilité de non-fonctionnement de la prise i à l'instant t.

En régime permanent, soit pour t assez grand, nous obtenons :

$$\mu_i p_i = \lambda_i q_i$$

avec la condition :

$$p_i + q_i = 1$$

d'où les probabilités :

$$p_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \qquad q_i = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i}$$

Soit X une variable aléatoire telle que :

$$\begin{cases} X = \Delta t \text{ avec la probabilité } p_i \\ X = 0 \text{ avec la probabilité } q_i \end{cases}$$

La moyenne de X est $E(X) = p_i dt$, d'autre part $\sum_{T'} X$ est la durée de fonctionnement du réseau, si nous appelons T′ la durée de service effectif de la canalisation pendant le mois de pointe.

Soit t_i la durée moyenne de fonctionnement de la prise i.

$$t_i = E(\sum_{T'} X) = \sum_{T'} [E(X)] = \sum_{T'} p_i \Delta t$$

$$t_i = p_i \sum_{T'} \Delta t = p_i T'$$

soit $p_i = t_i/T'$.

Nous prendrons comme probabilité d'avoir la prise i en service :

$$p_i = \frac{t_i}{T'} = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i}$$

Calcul direct de d :

Soit D une variable aléatoire représentant le débit demandé à la canalisation à un instant donné. D peut prendre différentes valeurs :

$$0,\ d_i\,(i = 1,2, \ldots m),\ d_i + d_j, \ldots, \sum_{i=1}^{m} d_i$$

Nous nous proposons de déterminer d débit que devra assurer la canalisation pour que :

$\Pr(D \leqslant d) = P_1$ avec $P_1 = 95\ \%$ ou $99\ \%$ par exemple.

$$\Pr(D = 0) = q_1 q_2 \ldots q_m = \prod_{i=1}^{m} q_i$$

$$\Pr(D = d_i) = p_i \prod_{i \neq j} q_j$$

$$\Pr(D = d_i + d_j) = p_i p_j \prod_{k \neq i,j} q_k$$

$$\Pr(D = \sum_{i=1}^{m} d_i) = \prod_{i=1}^{m} p_i$$

Pour obtenir $\Pr(D \leqslant d) = P_1$, il faut écrire les différentes valeurs possibles de D dans l'ordre croissant, calculer et ajouter les différentes probabilités correspondantes jusqu'à ce que soit atteinte la valeur P_1 demandée. d sera la plus grande valeur de D dont on aura calculé la probabilité pour atteindre P_1.

Cette méthode est difficilement exploitable par le calcul numérique, même si on la rend plus aisée en calculant plutôt :

$$\Pr(D \geqslant d) = P_2\ (P_2 = 5\ \% \text{ ou } 1\ \% \text{ par exemple})$$

En effet, elle nécessiterait un grand nombre d'heures de travail pour le calcul des différentes probabilités et de plus demanderait une très grande habileté de la part des programmeurs pour éviter l'inconvénient de dépassements de capacité sur l'ordinateur utilisé.

Approximation par la loi normale :
(Extension du calcul de R. Clément).

Soit D la variable aléatoire représentant le débit demandé à la canalisation à un instant donné :

$$D = D_1 + D_2 + \ldots + D_i + \ldots + D_m$$

D_i est une variable aléatoire telle que :

$$\begin{cases} D_i = d_i \text{ avec la probabilité } p_i \\ D_i = 0 \text{ avec la probabilité } q_i \end{cases}$$

La moyenne de D_i est :

$$E(D_i) = p_i d_i$$

La variance de D_i est :

$$\mathrm{Var}(D_i) = p_i d_i^2 - p_i^2 d_i^2 = p_i q_i d_i^2$$

De plus, les variables aléatoires D_i sont indépendantes.

$$E(D) = \sum_{i=1}^{m} p_i d_i$$

$$\mathrm{Var}(D) = \sum_{i=1}^{m} p_i q_i d_i^2$$

Si m est assez grand, nous pouvons appliquer le théorème central limite.

La variable aléatoire :

$$U = \frac{D - E(D)}{\sqrt{\mathrm{Var}(D)}}$$

suit une loi normale réduite N (0,1).

Soit :

$$D = \sum_{i=1}^{m} p_i d_i + U\sqrt{\sum_{i=1}^{m} p_i q_i d_i^2}$$

et :

$$d = \sum_{i=1}^{m} p_i d_i + u\sqrt{\sum_{i=1}^{m} p_i q_i d_i^2}$$

Il faudra calculer d'une part $\sum_{i=1}^{m} p_i d_i$, d'autre part $\sum_{i=1}^{m} p_i q_i d_i^2$:

$$\Pr(D \leqslant d) = \Pr(U \leqslant u) = P_1$$

Pour $P_1 = 95\ \%$ par exemple $u = 1{,}645$, d'où :

$$d = \sum_{i=1}^{m} p_i d_i + 1{,}645\sqrt{\sum_{i=1}^{m} p_i q_i d_i^2}$$

ETUDE DU RISQUE DE MISE A L'IRRIGATION :

Raisonnons sur un exemple : supposons que la prise i soit utilisée 4 années sur 5. Appelons α_i la probabilité que la prise i soit utilisée au cours d'une année et β_i la probabilité que la prise i soit condamnée.

Pour l'exemple considéré :

$$\alpha_i = \frac{4}{5} \qquad \beta_i = \frac{1}{5}$$

$$\alpha_i + \beta_i = 1$$

Les probabilités p_i et q_i du paragraphe précédent sont devenues des probabilités conditionnelles.

p_i = Probabilité de fonctionnement de la prise i sachant qu'elle est utilisée durant l'année.

q_i = Probabilité de non-fonctionnement de la prise i sachant qu'elle est utilisée durant l'année.

Soit D′ la variable aléatoire représentant le débit demandé à un instant donné à la canalisation.

D'_i est une variable aléatoire telle que :

La prise i est utilisée durant l'année (probabilité α_i) :

$$\begin{cases} D'_i = d_i & \text{avec la probabilité } p_i \\ D'_i = 0 & \text{avec la probabilité } q_i \end{cases}$$

La prise i est condamnée durant l'année (probabilité β_i) :

$$\begin{cases} D'_i = d_i & \text{avec la probabilité } 0 \\ D'_i = 0 & \text{avec la probabilité } 1 \end{cases}$$

d'où :

$$\Pr(D'_i = d_i) = \alpha_i p_i = p'_i$$

$$\Pr(D'_i = 0) = \alpha_i q_i + \beta_i = q'_i = 1 - p'_i$$

$$D' = D'_1 + D'_2 + \ldots + D'_i + \ldots + D'_m$$

Dans le calcul du paragraphe précédent, il suffit de remplacer les variables aléatoires D_i par les variables aléatoires D'_i telles que :

$$\begin{cases} D'_i = d_i & \text{avec la probabilité } p'_i = \alpha_i p_i \\ D'_i = 0 & \text{avec la probabilité } q'_i = 1 - p'_i \end{cases}$$

Nous obtenons une nouvelle expression de D :

$$D = \sum_{i=1}^{m} p'_i d_i + U\sqrt{\sum_{i=1}^{m} p'_i q'_i d_i^2}$$

d'où une nouvelle valeur :

$$d = \sum_{i=1}^{m} p'_i d_i + u\sqrt{\sum_{i=1}^{m} p'_i q'_i d_i^2}$$

Il est évident que lorsque les prises sont utilisées toutes les années :

$$\alpha_i = 1$$

soit :

$$p'_i = p_i \qquad q'_i = q_i$$

Donc, il n'y a pas de calculs distincts à effectuer suivant que les prises peuvent être ou non condamnées. La seule modification à apporter dans la formule est le remplacement de p_i par $p'_i = \alpha_i p_i$ avec $\alpha_i = 1$ lorsque les prises ne sont jamais condamnées.

Conclusion

Le mode de calcul préconisé pour le calcul des débits des réseaux d'irrigation à la demande, consiste en une extension de la méthode de Clément. Il aboutit à la formule :

$$d = \sum_{i=1}^{m} p'_i d_i + u\sqrt{\sum_{i=1}^{m} p'_i q'_i d_i^2}$$

Ce mode de calcul

— part des données précises de chaque îlot;
— fait une sommation statistique rigoureuse des demandes de débit;
— est d'un emploi facile à l'ordinateur. (Il ne présente pas de grandes difficultés en calcul manuel pour des réseaux de faible importance.)

Ce mode de calcul couvre bien les deux impératifs fondamentaux d'un calcul de débit : il renforce les conduites qui desservent un nombre réduit de bornes et réduit le dimensionnement des ouvrages principaux.

Il prend en compte à la fois le débit réel de chaque borne et la fréquence individuelle de fonctionnement de chacune d'elle. Il prend en compte le risque annuel d'irrigation de chaque îlot et donc le risque de concentration des irrigations.

Certes, il n'est valable que dans la mesure où les demandes sont indépendantes pendant le temps de fonctionnement du réseau, ce qui ne pourra être prouvé que par de longues et précises observations du fonctionnement de réseaux équipés pour une liberté totale. Il est à remarquer d'ailleurs que même si les observations faites à l'heure actuelle ne montrent pas cette indépendance des demandes, on peut penser que la liberté qui résultera de la maîtrise de l'eau ne peut qu'inciter les exploitants à fonctionner à l'avenir de manière tout à fait indépendante du climat et de l'environnement.

Abstract

The calculation of irrigation network flows

by
J. de Boissezon *
and
J.-R. Haït **

As a result of the increasingly frequent use made of computers for both agronomical investigations and compilation of tender documents and designs, it has become necessary to find a calculation method making the most of the scope afforded by modern computers and thus avoiding the difficulties normally encountered with conventional calculation methods.

By relying on a rigourous analysis of the agronomical data considered in the calculation, the authors have successfully extended the standard method originally developed by Clement.

Clement's method

With modern 'on demand' sprinkler irrigation methods, a careful study is necessary when rates of flow calculations must be assumed for dimensioning collective networks.

Clement's now classical study, which was based on a number of simplifying assumptions, yielded the following useful formula for ordinary calculation and plotting purposes :

$$d = d_0 (np + u\sqrt{npq})$$

where d = rate of pipe flow;
d_0 = rate of offtake flow;
n = number of offtakes;
u = a coefficient depending on demand satisfaction probability;
p = offtake operation frequency;
$q = 1 - p$.

This formula is based on the assumption that all the offtakes are operating at exactly the same frequency and with the same rates of flow. For a given demand satisfaction probability, it gives a flow summation which is rigourous if individual demands are independent and very numerous. As conditions in practice differ from these assumptions to varying degrees, however, designers have to ressort to various expedients or make certain additional assumptions when applying Clement's method. This is why it has been necessary to find a new method whereby diversified data can be allowed for, especially as regards agronomical conditions.

The new method

The object is to define the agronomical characteristics of each 'irrigation unit', this being the area supplied from one offtake (In a set of m offtakes, each one is identified by a subscript i, the values of which range from 1 to m)

The purpose of the preliminary investigations is to establish the offtake rate of flow, d_i, operating frequency p_i, and probable use for irrigation α_i for each offtake. These data respectively allow for the operating time required to supply the necessary quantities of water to the plants and to meet crop rotation requirements, which may — or may not — call for irrigation once every year.

This finally yields the parameters $p'_i = \alpha_i p_i$ and $q'_i = 1 - p_i$, with $\alpha_i = 1$ for offtakes never out of operation.

With the basic data for the method presented in this way, a mathematical study yields a direct calculation method for the rate of flow d, but this calculation is both tedious and delicate to perform. Fortunately, however, an approximation similar to that adopted by Clement, can be made, which gives the following new expression for the rate of flow :

$$d = \sum_{i=1}^{m} p'_i d_i + u \sqrt{\sum_{i=1}^{m} p'_i q'_i d_i^2}$$

This formula lends itself very well to computer calculation.

To sum up, therefore, this method of calculation allows for both true individual offtake discharge and operating frequency, for each offtake. It also gives the irrigation probability for each "irrigation unit', and therefore also probable irrigation concentration. Thus, by starting out from the individual data for each "unit' and using a suitable mathematical formula, this method provides a means of rigourously dimensioning sprinkler irrigation systems designed for "on demand' operation with the aid of a computer.

* Ingénieur civil du Génie rural à la SO.GR.E.A.H.
** Attaché de recherches au C.N.R.S.