

L'étude des projets d'hydraulique agricole à l'aide des calculatrices électroniques

Labye Y.

Informatique et développement rural

Paris : CIHEAM
Options Méditerranéennes; n. 2

1970
pages 73-83

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI01.0323>

To cite this article / Pour citer cet article

Labye Y. **L'étude des projets d'hydraulique agricole à l'aide des calculatrices électroniques.** *Informatique et développement rural*. Paris : CIHEAM, 1970. p. 73-83 (Options Méditerranéennes; n. 2)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

L'étude des projets d'hydraulique agricole à l'aide des calculatrices électroniques

par Y. LABYE

Docteur
ès Sciences Physiques
Ingénieur
du Génie Rural

I. — INTRODUCTION

Le développement considérable de l'irrigation par aspersion, dans le sud de la France, au cours des quinze dernières années posa de multiples problèmes techniques, économiques et humains dont la résolution ne pouvait être différée.

L'ampleur des travaux justifia l'ouverture d'importants crédits d'étude permettant d'entreprendre les recherches nécessaires.

De nombreux organismes d'étude publics, para-publics, ou privés, dont certains avaient déjà acquis une réputation mondiale, trouvèrent à l'occasion d'étendre le champ de leurs activités et d'étoffer leurs équipes de recherche. Des organismes nouvellement créés, tels que les Grandes Compagnies d'Aménagement, constituèrent leur propre service d'étude. Enfin, quelques chercheurs bénévoles prirent l'initiative d'apporter une contribution profitable.

Il ne faut donc pas s'étonner si, dans ce qui suit, nous faisons une essentielle référence aux problèmes d'irrigation et de drainage et même plus spécialement à l'irrigation par aspersion. En fait, cette limitation constitue une restriction plus apparente que réelle, la plupart des principes, méthodes de traitement et programmes sur calculatrice, mis au point et utilisés pour de tels projets étant aisément transposables, voire même directement applicables à la plupart des études d'aménagement hydraulique agricole, ainsi qu'on le verra plus loin.

La réalisation des grands projets d'irrigation par aspersion nécessita, et ce dans des domaines faisant appel à des disciplines scientifiques et techniques les plus diverses, la création ou la transposition de méthodes de calcul nouvelles et l'utilisation de procédés de collecte, stockage et traitement de données très volumineuses, difficiles à interpréter et le plus souvent aléatoires. Pratiquement, la mise en œuvre de tels procédés d'étude, implique toujours l'utilisation d'une calculatrice électronique.

II. — LES ORDINATEURS ET LES ÉQUIPES DE CALCUL LEURS ROLES, POSSIBILITÉS ET MODALITÉS D'INTERVENTION

Parmi les principaux apports des calculatrices on peut citer :

1. La suppression de calculs « manuels » et travaux de manipulation de documents, longs, pénibles, et fastidieux.

2. La faculté d'envisager de nombreuses variantes permettant de faire un choix judicieux, même, ce qui est fréquent, lorsqu'on ne dispose pas d'un procédé rigoureux d'optimisation.

3. La mise à la disposition quasi immédiate, des différents intéressés, d'un volume très important de renseignements (données, résultats, etc.) présentés de façon *standard*.

4. La possibilité de tester, contrôler les renseignements, de procéder à des études statistiques de façon à dégager les paramètres jouant un rôle prépondérant, dans le but de simplifier les études et les « programmes ».

5. La mise en application de procédés de traitement et de calcul dont l'utilisation était pratiquement impensable avant l'apparition des calculatrices.

6. La possibilité de faire face aux problèmes les plus divers d'aménagement en faisant appel, dans l'ordre qui convient, aux différents programmes ou sous-programmes permettant chacun de résoudre un ensemble de problèmes de type particulier.

Mais il importe de souligner que la calculatrice n'est qu'un outil de travail. L'ordinateur « pensant » n'est qu'une illusion, la machine effectuant parfaitement, mais uniquement, les opérations qui lui ont été commandées à l'aide du « programme ».

Le choix judicieux et l'interprétation correcte des données à prendre en considération, la fixation des renseignements qu'il importe d'obtenir, la détermination et l'éventuelle création des procédés théoriques de traitement et de calcul, l'habileté dont on fait preuve lors de l'écriture des programmes, sont déterminants en ce qui concerne le coût du calcul, la validité des résultats, la souplesse et la simplicité des programmes, la possibilité de les modifier ultérieurement si nécessaire.

Une équipe pluridisciplinaire.

De telles opérations ne peuvent être menées à bien que par des spécialistes confirmés habitués à travailler ensemble dans une équipe pluri-disciplinaire. Il est en effet impératif que l'équipe chargée de l'étude comporte un ou plusieurs spécialistes pour chacune des dis-

ciplines, telles que mathématiques, informatique, économie, sociologie, hydrologie, agronomie, art de l'ingénieur, etc., intervenant dans nos projets.

Vouloir opérer une classification à caractère plus ou moins péjoratif faisant état d'une soi-disant importance relative d'une de ces disciplines par rapport à une ou plusieurs autres, alors même qu'elles interviennent en commun ne peut provoquer que les pires déboires.

Études techniques et économiques

Il est clair qu'une insuffisance de l'étude technique conduit à la réalisation d'installations ou d'ouvrages se révélant incapables de remplir le service justifiant leur existence dans des conditions de sécurité, de maintenance, de commodité et de coût d'exploitation permettant de les rendre effectivement compétitifs. Une telle défaillance entraîne d'ailleurs généralement une telle imprécision sur l'évaluation des investissements et des coûts d'exploitation que l'étude économique elle-même n'a plus de véritable signification.

De même, pour si solide que soit l'étude technique, elle est totalement dépourvue d'intérêt si elle n'est pas accompagnée d'une étude économique permettant de montrer la rentabilité du projet.

L'aspect sociologique

Il est capital de ne pas oublier que la réussite véritable de l'affaire dépend essentiellement du comportement de l'agriculteur. Sa « réceptivité », sa volonté et sa faculté d'adaptation à des méthodes nouvelles sont à cet égard déterminantes. Mettre à sa disposition des moyens qu'il ne voudrait pas, ne pourrait pas, ne saurait pas utiliser convenablement, ne peut conduire qu'à un gaspillage des crédits de l'Etat.

C'est dire l'importance de l'aspect sociologique trop souvent minimisé, au bénéfice de considérations purement économiques qui ne constituent pas les seuls critères à prendre en compte lorsqu'on se donne pour thème d'améliorer le sort des humains.

La définition des responsabilités incombant aux équipes d'étude a fait l'objet d'un important débat lors du dernier Congrès de l'I.C.I.D. à Mexico où l'on vit à plusieurs reprises les auditeurs manifester la crainte que les organismes

d'étude ne deviennent inconsciemment ou non, des groupes tout puissants de « technocrates » imposant des décisions basées uniquement sur des critères économiques et méconnaissant « l'aspect humain » des problèmes.

La doctrine retenue en pareille matière, avec l'approbation unanime des spécialistes présents, est qu'en aucun cas le groupe d'étude ne saurait posséder le moindre pouvoir en ce qui concerne les décisions et la fixation des objectifs, ce pouvoir ne pouvant et ne devant appartenir qu'aux maîtres-d'œuvre et aux gouvernants.

Le rôle des équipes d'études doit se borner à la fourniture des avis et renseignements susceptibles d'éclairer pleinement les gens ayant pouvoir de décision sur les conséquences de l'adoption d'une décision, d'un comportement. Un tel partage des responsabilités est indispensable si l'on veut que les avis émis par de telles équipes gardent le caractère d'indépendance sans lequel ils perdraient toute validité.

Par contre, il appartient au Groupe d'Etude de tester les données et résultats, de déterminer la précision et le domaine de validité des renseignements qu'il fournit, d'indiquer le meilleur moyen permettant d'atteindre les objectifs fixés.

Le puissant moyen d'investigation que constitue l'ordinateur permet fréquemment de suggérer des solutions qui n'avaient pas été envisagées au départ, de montrer qu'une modification de l'objectif initialement prévu peut éventuellement être bénéfique.

Il faut noter que la recherche d'un optimum économique n'est qu'un cas particulier d'activité du Groupe d'Etude. Le caractère pluri-disciplinaire d'un tel organisme le conduit inmanquablement à envisager les aspects les plus divers du problème.

Il est donc loisible de faire intervenir l'aspect humain, soit en introduisant des « contraintes », soit en étudiant le coût d'une « contrainte ». Ainsi, il est fréquent qu'on s'impose, par exemple, que le revenu minimum annuel d'un agriculteur ne soit pas inférieur à un certain seuil ; on pourra ainsi faire en sorte qu'un certain équilibre démographique d'une région soit respecté, etc.

III. — PRINCIPES GÉNÉRAUX D'ÉTUDE DES PROJETS D'AMÉNAGEMENT

Nous envisagerons ici uniquement le cas des projets d'irrigation encore que, comme on l'a mentionné plus haut, les considérations développées dans ce chapitre soient, moyennant des adaptations et modifications mineures, applicables dans leur principe à la plupart des aménagements agricoles.

Nous nous bornerons au problème posé par la délimitation et l'évolution optimale dans le temps d'un périmètre ou d'un groupe de périmètres situé dans une zone géographique donnée en présumant que les données ont déjà été

fournies à la suite d'études plus générales ayant permis de définir une politique agricole à l'échelle nationale et de fixer des objectifs à l'échelle de la région et du département.

Le cadre du projet

Ainsi les problèmes d'implantation, de renforcement, de fusion des usines de stockage ou de transformation, les études de marchés, l'influence de la taille de l'entreprise ne seront pas envisagés. En fait il s'agit là d'un abus de langage car de tels problèmes sont toujours évoqués et souvent même précisés ou approfondis à l'occasion de l'étude d'un aménagement particulier.

Nous voulons plutôt montrer ici qu'on procède par approximations successives et qu'on ne part pas du néant, une pré-étude d'ensemble menée à l'échelon national ayant permis de dégrossir les objectifs, au niveau régional et départemental, de fournir une évaluation d'ailleurs souvent peu précise des prix à adopter pour un premier calcul, de prévoir les débouchés possibles, de fixer une première implantation des industries annexes, de définir les zones où l'on peut envisager avec profit l'irrigation.

On est alors à même d'effectuer une première étude dont les résultats sont réinjectés dans le modèle d'aménagement national.

Les possibilités de transport, l'incidence sur les prix de revient de l'aide financière de l'Etat, le risque de voir surgir sur un marché qu'on croit pouvoir conquérir (et ce même dans sa propre région) un compétiteur situé à plusieurs centaines de kilomètres voire même à l'étranger justifient l'adoption d'un tel processus.

Il permet au pouvoir politique de juger en pleine connaissance, de corriger si nécessaire sa politique économique et d'adopter les mesures autoritaires ou d'aide financière qu'il estime opportunes. Il fournit aux utilisateurs, aux organismes chargés de l'aménagement, les informations permettant de faire des prévisions et des estimations valables. Ex un mot il provoque légitimement une adhésion aux décisions parce qu'il justifie les espérances.

L'étude d'aménagement.

Muni de ces directives assez générales on peut alors procéder à l'étude de l'aménagement du périmètre ou du groupe de périmètre après avoir procédé bien entendu aux études à caractère local et technique permettant de recueillir les données du problème. (Evaluation des ressources, études agro socio économiques, études techniques au sens de l'art de l'ingénieur, etc.).

Certes des divergences sont enregistrées en ce qui concerne les modalités de traitement du problème, par suite de différences de conception des critères économiques à prendre en compte qui varient d'une nation à l'autre, mais les principes généraux guidant, les différent



C. V.

Auto-arrosage.

auteurs restent très voisins. Le choix du critère économique adopté peut éventuellement se révéler identique pour des nations de régime politique très différents, varier considérablement pour deux pays se réclamant de la même idéologie ou pour deux régions d'une même nation.

Presque toujours on est conduit à prendre parallèlement en considération trois systèmes: l'utilisation, le transport, la ressource.

1° L'utilisation.

L'étude conjointe du réseau de distribution, des moyens locaux de stockage de l'eau et l'étude agro socio économique menée jusqu'au stade de l'exploitation permettent pour chaque périmètre défini par sa frontière géographique, d'obtenir :

a) soit le débit nécessaire en fonction du temps pour satisfaire les besoins correspondant à un plan de culture et de production fixé ;

b) soit de maximiser le revenu, le profit ou la valeur ajoutée du périmètre, lorsqu'on se fixe la fonction aléatoire exprimant en fonction du temps le débit fourni en tête du périmètre (ou en un certain nombre de points du périmètre situés généralement à la frontière ou au voisinage de cette frontière).

En fait une simplification très importante du problème peut, sauf exception, être valablement effectuée en raison de l'existence d'une période de pointe. Ceci entraîne que le réseau de distribution doit être calibré pour les « besoins » de cette période. Bien entendu que l'on soit dans le cas a) ou b) ci-dessus, il y a lieu d'optimiser le coût du réseau de distribution.

2° Le transport.

Calcul d'optimisation du réseau de transport (canaux, tuyaux) en fonction de la position des réservoirs d'accumulations, des périmètres desservis, et des débits fournis aux périmètres et prélevés aux sources.

3° La ressource.

Calcul de la distribution de débit susceptible d'être fourni par chaque réservoir et du coût correspondant en fonction de son volume, de son implantation, de la règle de gestion technique adoptée.

Chacun des trois systèmes fait (ou peut faire) l'objet d'une optimisation propre avec « paramétrage ». Les résultats ainsi obtenus sont ensuite injectés dans un modèle d'ensemble de sorte que « l'examen » des nombreuses combinaisons possibles permette d'obtenir un programme optimum d'investissement et d'aménagement dans le temps.

Le caractère aléatoire des données est, dans toute la mesure du possible pris en considération.

Rôle de l'ordinateur.

Certes dans de nombreux cas le groupe d'étude peut borner son intervention

à une partie seulement d'une telle étude, soit que la nature même du problème permette une simplification, soit que les préoccupations du maître d'œuvre soient plus limitées (et ce souvent très valablement). Au contraire on pourra parfois inclure dans l'étude d'aménagement l'usine de transformation ou de stockage, etc.

Mais ceci montre qu'on est à même de traiter ces problèmes d'ensemble souvent fort complexes, et qu'il existe des programmes opérationnels permettant d'y parvenir.

Il est clair que malgré les soins qui ont été apportés à l'étude, les incertitudes en ce qui concerne l'avenir en matière de données du problème font que bien des prévisions ne seront pas vérifiées. Il est loisible de reprendre l'étude après un certain délai et de faire un second passage en machine en modifiant les données, compte tenu des observations qu'on a pu faire, des nouvelles prévisions qu'on a pu établir.

L'ordinateur joue (et le devra encore davantage dans l'avenir) un rôle essentiel lors de la confrontation des prévisions données par le projet et des résultats effectivement atteints en ce qui concerne le service rendu par le réseau. Tant en ce qui concerne l'économie que la technique il conviendra d'implanter les appareils de contrôle et de mesure, d'établir, dépouiller, interpréter les fiches de gestion et d'exploitation, permettant de définir le devenir des ouvrages, de déterminer les modifications à leur apporter et par suite d'améliorer les méthodes actuellement en usage.

Plus encore, on devrait, dans l'optique d'un « rendement économique optimal » s'efforcer d'obtenir le résultat suivant, qu'on confond souvent avec la pure gestion technico-comptable d'un vaste ensemble : un ordinateur définirait à chaque instant la meilleure gestion technique et économique du système matériel déjà existant, la politique et les modalités d'exploitation et d'équipement à adopter dans l'avenir, compte tenu de l'ensemble des informations déjà recueillies et des prévisions concernant l'évolution du marché, l'état des végétaux, les conditions météorologiques, l'état des ressources, les moyens matériels, financiers et la technicité des agriculteurs, les possibilités de stockage, transformation, transport des produits.

Il serait d'ailleurs plus opportun à notre avis de parler « d'optimisation d'une fonction de satisfaction » où l'on peut faire intervenir « l'aspect humain », que de « rendement économique optimal ».

IV. — LES DIFFÉRENTES ÉTAPES D'UNE ÉTUDE DE PROJET

Après avoir rappelé les principes qui nous paraissent d'actualité en matière d'étude d'un projet, nous allons entrer dans le détail du déroulement d'une telle étude. Nous y trouverons l'occasion de fournir des exemples concrets faisant ressortir l'importance de la contribution française.

1. Évaluation des ressources.

Cette évaluation intervient à la fois au stade du projet et dans le cadre beaucoup plus vaste des programmes généraux d'aménagement régional et national.

Elle ne peut être effectuée correctement que si l'on dispose des données hydrologiques dont l'importance est capitale et qui intéressent en fait tous les utilisateurs de l'eau (agriculture, industrie, navigation, alimentation en eau potable, etc.).

La mesure, la collecte, la transmission, le stockage, le traitement permettant de mettre sous la forme la mieux exploitable par les différents utilisateurs des renseignements hydrologiques constitue en fait un véritable service d'intérêt national.

Il ne fait aucun doute qu'on en a pris nettement conscience tant en France qu'à l'étranger.

Il importe de faire en sorte que les renseignements hydrologiques ne soient pas trop rudimentaires ou même ne fassent pas totalement défaut le jour où il y a lieu de procéder à une étude de projet comme on doit malheureusement le déplorer trop souvent. Une telle circonstance a souvent pour origine le fait que les programmes de réalisation des travaux, basés généralement sur les enveloppes financières ne prennent en considération que le « court terme ». Ce fait ne doit pas faire obstacle à l'établissement d'un plan local de prospection hydrologique à plus long terme permettant de se rattacher au canevas général de la France qui reste d'ailleurs à établir.

Un choix opportun de la précision à adopter, une harmonisation des définitions, une organisation et une standardisation des matériels et méthodes pourraient vraisemblablement entraîner une diminution notable du coût des opérations.

On notera que dans la plupart des nations l'existence de monopoles et les tarifs actuellement pratiqués constituent un obstacle majeur à certains modes de transmission par fil des données.

La S.O.G.R.E.A.H., le Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, (E.-D.F.), l'O.R.S.T.O.M. disposent de programmes permettant de déterminer les liaisons ou corrélations entre l'évaporation, la température, l'hygrométrie, l'altitude, les débits des résurgences et des rivières aux précipitations, d'effectuer l'ajustement des échantillons de crues aux lois classiques, de reconstituer les régimes d'écoulement des fleuves.

Les deux premiers laboratoires ci-dessus mentionnés sont à même d'étudier les régimes variables des fleuves et rivières à l'aide, en particulier, de la méthode des « caractéristiques » appliquées aux équations de Saint Venant. Il est impossible de fournir ici une liste des très nombreuses études faites par ces deux organismes en France et à l'étranger. Mentionnons le modèle bidimensionnel du Mekong élaboré et exploité par S.O.G.R.E.A.H. pour le compte de l'U.N.E.S.C.O., permettant

de simuler l'écoulement des eaux dans un delta de 100 km sur 600 km.

La S.O.G.R.E.A.H., Chatou, la Société GEOTECHNIQUE ont construit des modèles mathématiques simulant le comportement d'une nappe en régime permanent ou transitoire dans différentes hypothèses de prélèvements ou de recharge.

Notons aussi l'importante contribution apportée par différents organismes publics (O.N.M., I.G.N., Ponts-et-Chaussées, Mines, Aménagement du Territoire, Compagnies d'Aménagements, Génie Rural, Agences de Bassins, etc.). Citons en particulier l'apport fourni par les Ingénieurs du Corps des Mines pour l'étude des modèles mathématiques de nappes.

2. Études agronomiques.

Elles constituent une partie importante des études mentionnées au paragraphe 1 du chapitre III. Elles nécessitent une étude détaillée de chaque exploitation, de chaque parcelle. Elles comportent entr'autres la détermination des spéculations agricoles pour chacune d'elles, la détermination des assolements, du calendrier des cultures, des modalités de l'irrigation, les caractéristiques de l'installation dans le cadre d'un optimum relatif fonction de « paramètres » tels que le prix du mètre cube d'eau, le débit maximum susceptible d'être fourni, la distribution des débits prélevés en fonction du temps.

A titre indicatif, mentionnons les caractéristiques des programmes qu'exploitent les principaux bureaux d'étude français.

La S.O.G.R.E.A.H. détermine pour la zone à mettre en valeur le potentiel à long terme résultant de l'utilisation optimale des ressources puis définit ensuite la stratégie à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs, compte tenu des contraintes de développement.

Pour résoudre ce problème, on découpe la zone en terroirs relativement homogènes en ce qui concerne le milieu physique (relief, sol, micro-climat) l'utilisation actuelle des terres, les potentialités agricoles, les moyens matériels dont disposent les agriculteurs, leur comportement sociologique, etc. On détermine ensuite un système de production qui, compte tenu du marché des produits et des différents facteurs de production procure à long terme le meilleur revenu à une population rurale tout en restant compatible avec l'équilibre régional. A cet effet on utilise la programmation linéaire (modèle statique). Ceci permet d'opérer un classement hiérarchique des terroirs et de définir pour chacun d'eux un programme optimal de mise en valeur. On peut étudier les variations de l'optimum en fonction des variations des données de base.

Ce modèle a été utilisé pour l'étude de la région de Millery-Mornant, de la vallée de l'Ariège, du périmètre de Palencia en Espagne. Le second problème

est traité par un modèle mathématique du type dynamique, soumis à la variable temps, qui simule l'évolution d'un ensemble d'exploitations agricoles à partir des lois de comportement attribuées à chacune d'elles et sous l'influence des différentes combinaisons des actions possibles. C'est ainsi qu'a été étudié le développement agricole de la vallée de la Garonne.

La Société de Recherches Economiques et Sociologiques en Agriculture (S.A.R.E.S.), filiale de la S.E.M.A., a résolu le problème de la combinaison optimale de production d'une exploitation ou d'un groupe d'exploitations également par application de la programmation linéaire, mais à variables mixtes, avec paramétrage, où figurent les activités représentées par les productions et moyens de production mis en compétition, les contraintes exprimant les liaisons entre les productions, les facteurs de production et évidemment la fonction économique à optimiser.

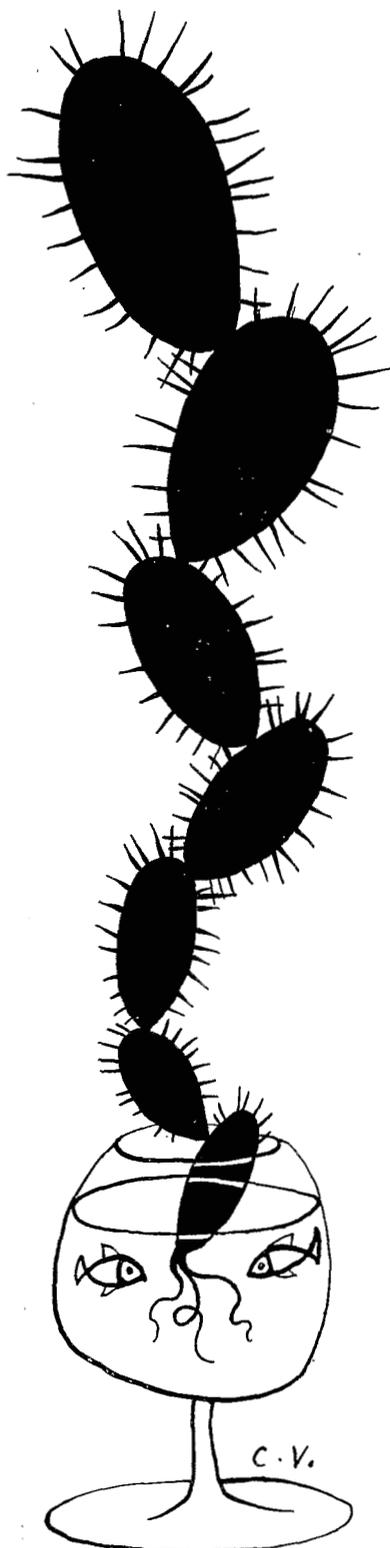
Elles dispose d'un modèle permettant la recherche d'un programme d'investissement et de mise en valeur qui a la particularité d'être à variables mixtes, dynamique, à plusieurs périodes (chaque équipement et mise en valeur étant envisagé à plusieurs périodes), conçu et traité en avenir incertain. Ce modèle comprend un modèle de base par période où figurent des activités représentées par les différents équipements et les différents secteurs homogènes de valorisation de l'eau, des contraintes exprimant les liaisons entre les activités, (équilibre, ressources, besoins en eau, cohérence technique, etc.), une fonction économique représentant les accroissements de revenus ou de coût dus à chaque activité. Ces modèles de base sont regroupés dans le modèle général qui est complété par des contraintes nouvelles de cohérence, de succession dans le temps, de possibilités financières, etc.).

Les paramètres techniques et économiques des secteurs homogènes de valorisation agricole de l'eau, sont préalablement déterminés par le programme ci-dessus mentionné de recherche de la combinaison optimale de production et de moyen de production d'une exploitation ou d'un ensemble d'exploitations.

L'étude de la mise en valeur hydro-agricole de la vallée du Chelif (100 000 ha), celle de la mise en valeur hydraulique de l'Ouest Algérien (ouvrages à buts multiples dont 20 000 ha agricoles) constituent deux applications de ce modèle.

Parmi les autres références de la S.A.R.E.S., citons des études pour le compte de la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, la D.D. A. du Haut-Rhin, le Génie Rural Algérien (Plaine de Bone-Annaba), l'O.C.-D.E. (périmètre de l'Alentijo, au Portugal).

Une importante recherche sur les problèmes de l'irrigation en Provence a été menée à l'aide de la « programmation linéaire » par la Société du Canal de Provence (S.C.P.) en collaboration avec l'I.N.R.A. (Institut National de la Recherche Agronomique). Les auteurs



Cactus d'eau.

MM. Ricard (S.C.P.), Boussard et Petit (I.N.R.A.) ont commencé par établir un modèle d'exploitation. Il a été tenu compte que toute la superficie n'est pas irrigable ou que l'exploitant n'est pas obligé de souscrire un contrat d'irrigation pour la totalité, ce qui lui imposerait une charge financière très lourde. On a distingué les travaux qui nécessitent l'emploi permanent de personnel qualifié, de ceux qui ne font appel qu'à une main-d'œuvre temporaire non spécialisée. On a pris en considération le frein à l'intensification désirée, résultant du fond de roulement exigé par les cultures légumières. Indépendamment des contraintes de rotation existant dans tous les modèles de ce type, des contraintes spécifiques à la région considérée ont été prises en compte. On a admis que les agriculteurs cherchaient à maximiser leur revenu tout en s'imposant que la probabilité pour que ce revenu soit inférieur à une certaine borne soit très faible. Puis on passa ensuite à l'élaboration du modèle régional en utilisant les principes analogues à ceux utilisés par les deux bureaux d'étude ci-dessus en employant, là encore, le programme linéaire.

De nombreuses études de déformation de la solution, résultant de la variation des différents facteurs ou contraintes, furent entreprises. On notera que très fréquemment les auteurs des modèles font appel à la théorie marginaliste lorsque plusieurs catégories d'utilisateurs sont en compétition.

MM. Joigny et Fabre, Ingénieurs du Bureau Le Petit s'appuyèrent sur les recherches de MM. Damagnez et De Villele (I.N.R.A., Tunisie) pour leurs études d'aménagement de la vallée de la Serre (France), des vallées du Bumerzoug, du Tiffech et de l'Hamine, de la Meskiana, des périmètres de Guellial, de Tebessa et du Hamma en Algérie.

Evapotranspiration...

Ces auteurs considèrent, à juste titre, que le débit d'utilisation « optimal » est celui qui assure la valeur ajoutée « maximale » et qu'il ne s'identifie pas à l'E.T.P., même dans le cas où l'eau n'est pas facteur limitant.

Il est de fait qu'on accorde trop d'importance au critère dit d'évapotranspiration qui est toujours pris comme base pour l'évaluation des « besoins » en eau, alors qu'il ne fournit pas le « débit économique » optimal et qu'il ne donne même pas, nécessairement, le débit correspondant à un rendement maximum, en particulier lorsqu'on envisage la production de graines.

Certes, dans de nombreux cas, l'E.T.P., fournit un point privilégié sur la courbe rendement-débit, ce qui justifie les recherches effectuées pour sa détermination, mais on concevrait mal qu'on engloutisse des sommes très considérables pour préciser la valeur de l'E.T.P. du maïs grain, alors que l'agriculteur le plus ignorant sait parfaitement qu'il obtient un rendement nettement supérieur en utilisant une dose nettement inférieure à cette E.T.P.

... ou courbe-débit-rendement.

Il importera donc, à notre avis, d'introduire dans les calculs la courbe débit-rendement si l'on veut se rapprocher davantage des principes généraux que nous avons rappelés au chapitre III. Techniquement on peut y parvenir en utilisant un programme linéaire spécial à variables mixtes. (A notre connaissance les utilisations de programmes à variables mixtes introduites par certains bureaux d'étude, comme on l'a mentionné plus haut, ne concernent pas cet aspect du problème).

L'amélioration qui en résulterait ne doit pas faire oublier que le problème posé par la détermination des doses à administrer en fonction du temps constitue un problème gigantesque où interviennent des notions telles que la définition de l'état d'un végétal en fonction de son histoire, la teneur en eau des sols, etc.

Toutefois, sans méconnaître la difficulté de tels problèmes, en raison des longues, coûteuses et difficiles recherches à entreprendre, il conviendra d'améliorer les « schémas » fournis par les agronomes.

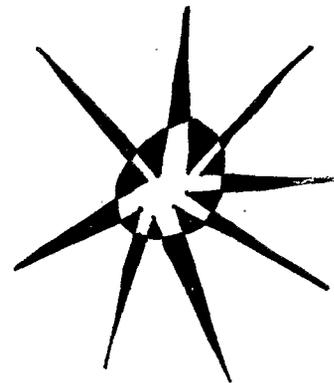
Plus généralement l'I.N.R.A., les Centres de Gestion, les Services Agronomiques des Compagnies d'Aménagement, de nombreux organismes d'étude publics ou privés, apportent une substantielle contribution aux très difficiles problèmes posés par la quantification des différents facteurs intervenant dans les modèles mathématiques.

Autres méthodes.

Citons aussi les travaux menés par Le Goff (I.G.R.E.F., S.C.T.C.T.H.) qui a établi une méthode permettant de calculer le taux de subvention, la surface irriguée d'une exploitation de façon que, compte tenu des investissements complémentaires et contraintes provoquées par l'aménagement, on obtienne pour un taux de rentabilité interne de l'exploitation, fixe a priori, un plein emploi et une pleine rémunération de la main-d'œuvre (initiale et complémentaire).

On doit à René Clément (I.C.G.R.-E.F., S.C.P.), une étude sur ordinateur de la tarification générale des eaux du Canal de Provence. Après étude des coûts de développement des ouvrages, Clément applique le principe de vente au coût marginal afin d'obtenir les tarifs différenciés à appliquer selon les zones, les catégories d'utilisateurs (irrigation, besoins urbains, industries, etc.), la nature des consommations (débit souscrit, volume consommé). En outre, afin de déterminer la capacité des ouvrages et le bilan prévisionnel des dépenses et recettes futures de la S.C.P., Clément a construit des modèles mathématiques permettant de prévoir l'évolution des consommations pour chaque catégorie d'utilisateurs, ainsi que les budgets d'exploitation de la Compagnie. Ces programmes généraux sont évidemment utilisables pour tous les problèmes similaires d'aménagement.

MM. Besanval, Lecarpentier (S.T.C.-



Evapotranspiration.

T.H.) ont, sous la direction de M. Darves-Bornoz (I.C.G.R.E.F.), publié « une étude fréquentielle des besoins en eau en France », appliquant une méthode sur simulation sur données réelles proposée par M. Darlot (I.G.G.R.E.F.). Un tel procédé d'étude peut rendre de grands services au stade de l'établissement des programmes généraux d'investissement, dans le cas où l'urgence de la réalisation ou la faible importance du projet ne permettent pas ou ne justifient pas des études longues et coûteuses. Malheureusement, les projeteurs font souvent une utilisation intempestive des principes énoncés dans cette étude et se placent hors du cadre que s'étaient fixés eux-mêmes les auteurs.

Ainsi, on voit fréquemment, pour des périmètres de grande surface, des projeteurs calculer systématiquement le réseau de façon qu'il satisfasse, pour le mois de pointe au « besoin » de fréquence décennale. Il est clair que l'adoption a priori d'un critère aussi simpliste ne permet pas une confrontation « économique » valable des facteurs et moyens de production.

Tout ceci montre qu'il ne faut avoir d'autre prétention que de donner ici un très simple aperçu des innombrables difficultés auxquelles on se heurte lors des études agro socio économiques qui constituent un sujet pratiquement inépuisable. Les difficultés d'obtention, d'interprétation, de quantification des informations, la légitime diversité des préoccupations selon que l'on se place au point de vue de l'agriculteur, de la Compagnie d'Aménagement ou de l'Etat, la gravité des conséquences des décisions, économiques et humaines, l'impossibilité de modifier rapidement les spéculations en fonction des fluctuations du marché, le caractère aléatoire des phénomènes naturels intervenant sur la qualité et le volume des productions doivent nous inciter à faire preuve à la fois d'un grand désir de progrès et de la plus grande modestie.

3. Dimensionnement et gestion technique des réserves d'accumulation et des grands canaux d'adduction.

3.1. Les réserves d'accumulation.

Il importe de définir le choix des réserves, leur volume, l'ordre (et même l'époque) de leur création, les consignes d'exploitation de l'ensemble dans le cadre de la recherche d'optimum exposée au chapitre III.

Afin d'illustrer les possibilités offertes par les modèles mathématiques mis au point par S.O.G.R.E.A.H. nous ferons état de deux exemples d'applications : l'aménagement du Zayandes-Roud (Iran) et la régularisation de la Gimone (France).

Pour l'aménagement du Zayandem-Roud, il fallait déterminer la capacité R d'un réservoir de régulation annuelle et inter-annuelle, et la superficie

optimale S du périmètre d'irrigation desservi par le réservoir. La séquence des apports avait été reconstituée à partir d'une étude hydrologique. Une simulation de l'exploitation de la réserve a fourni une distribution statistique de t , rapport entre le volume effectivement distribué et le besoin normal des irrigations, pour un certain nombre de couples (R.S.). Ces résultats ont permis de maximiser le revenu net procuré par l'aménagement, différence entre le revenu agricole capitalisé (proportionnel à S) et le coût des investissements (fonction de R et S). Compte tenu de l'occurrence des apports et des besoins, les consignes d'exploitation correspondant à la solution technique retenue ont été obtenues par application du « programme linéaire ».

Le problème posé par la régulation de la Gimone consistait en la recherche d'un programme d'exploitation d'un ensemble de barrages ; de réserve et de prises capable de satisfaire en tout temps la demande d'eau d'irrigation et de réduire au maximum les pertes d'eau. Là encore, on a fait appel à une méthode de simulation.

Quoiqu'ils aient fait plus précisément l'objet d'application aux ouvrages de l'E.D.F., il est clair que les travaux de Bernier (Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou) s'appuyant plus ou moins sur la théorie de Moran, qui fait appel aux processus de Markov, peuvent évidemment être utilisés avec le plus grand profit pour les réserves d'irrigation.

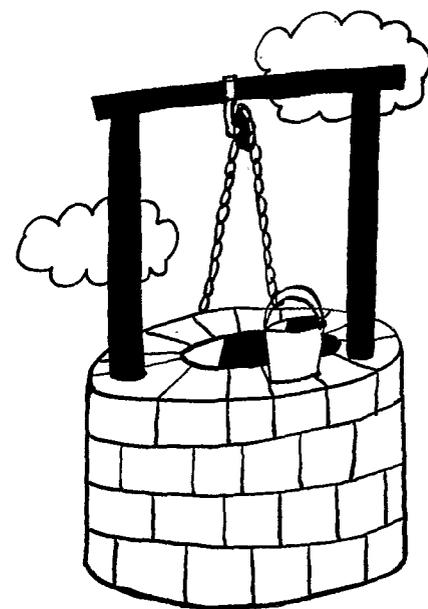
Sous l'impulsion de M. Funel (I.C.-P.C., Algérie), M. Roux (I.P.C., Algérie) a mis au point une méthode d'étude des réservoirs d'irrigation très séduisante, appliquant ces principes. Les paramètres et critères pris en compte sont particulièrement bien choisis. M. Roux a appliqué son procédé au cas du barrage d'Oued Fodda.

3.2. Les grands canaux d'adduction.

Il importe de faire en sorte que le gabarit des ouvrages (bassins de dissipation, biefs, galeries, cheminées d'équilibre, vannes régulatrices) et les lois régissant leur gestion technique, soient tels que la sécurité et la stabilité du fonctionnement lors des variations de régime, résultant de manœuvres ou d'incidents prévus ou intempestifs soient toujours assurés. Il y a donc à la fois un problème d'hydraulique et un problème de commande, (et même de commande optimale de systèmes).

S.O.G.R.E.A.H. a établi des modèles mathématiques permettant de traiter de tels problèmes. Citons ci-après quelques applications :

a) Le canal primaire du Sommierois était alimenté en tête par une station de pompage unique, puis se divisait en deux branches alimentant chacune une station de mise en pression desservant un réseau d'irrigation par aspersion ; le débit maximum de la station de tête étant égal au débit moyen journalier des deux autres stations, l'étude a permis de corriger les dimensions des bran-



Chacun

ches du canal, de sorte que les réserves propres de ces éléments puissent assurer la régularisation des pointes du débit d'aspersion.

b) Une étude générale du *Canal de Provence*, vérifiant la stabilité de fonctionnement et l'absence de surpressions dans les galeries et de débordement dans les biefs à ciel ouvert. Cette étude, qui a permis de montrer l'importance du rôle joué par les dimensions des cheminées d'équilibre placées sur les galeries à l'amont immédiat de vannes automatiques et par le mode de régulation de ces vannes, a nécessité l'utilisation du programme de calcul des canaux en régime transitoire (équations de St-Venant), d'un programme relatif aux régimes transitoires dans les canalisations en charge (mouvement en masse) et de divers sous-programmes simulant le fonctionnement des différentes vannes régulatrices.

c) Le canal P₃ (Roumanie) devait être équipé en commande par l'aval, de sorte que la revanche des canaux au-dessus de la ligne d'eau à plein régime soit minimale. Le problème a été résolu à l'aide des modèles mentionnés ci-dessus qui ont permis de comparer divers systèmes de régulation aval.

La Société du Canal de Provence (S.C.P.) a fait établir par le Laboratoire National d'Hydraulique d'E.D.F. (Chatou) un modèle mathématique de la portion du Canal de Provence entre Rians et Signes, qui après essai à Chatou, a été adapté à l'ordinateur I.B.M. 360-30 de la S.P.C. qui l'exploitera normalement. Sous le contrôle de M. Bureau (S.C.P.), M. Jean (S.C.P.) apporta sa collaboration aux Ingénieurs du Laboratoire de Chatou.

Le modèle permet de vérifier que le fonctionnement des ouvrages présente toute garantie de sécurité et de stabilité. Il est établi pour résoudre le problème pour un élément type ou une série d'éléments type pour lequel (ou laquelle) on connaît les conditions aux limites susceptibles d'être rencontrées. Le modèle est donc conçu de façon que la S.C.P. puisse établir comme le désirait René Clément (I.C.G.R.E.F., Directeur à la S.C.P.), en utilisant de façon appropriée les différents sous-programmes, les différents modèles mathématiques permettant de calculer les futurs ouvrages hydrauliques que cette Compagnie d'Aménagement aura à construire ou à étudier.

Clément a parfaitement fait ressortir l'intérêt présenté par une telle possibilité :

1. Lors des études des projets où l'on doit vérifier le bon fonctionnement de nombreuses variantes qu'il convient d'examiner et de comparer.

2. Lors de la réalisation de travaux où il importe de connaître très rapidement les modifications de régime hydraulique qui résulteraient d'une éventuelle et souvent souhaitable modification des ouvrages et de leur gestion.

3. Lors de l'exploitation où il faut faire face aux demandes (certaines, pré-

vues ou intempestives) moyennant si nécessaire une modification des règles de gestion technique initialement prévues.

3.3. Détermination des éléments du réseau de distribution.

L'étude agronomique ayant déterminé la position, le débit nominal, la fonction aléatoire définissant l'ouverture des prises, le problème consiste à déterminer le système matériel (stations de pompage, surpresseurs-relais, canalisations, réservoirs-relais) satisfaisant aux conditions suivantes :

a) Conditions techniques

Il faut que certains critères (moyenne, écart type) relatifs au débit instantané et au volume moyen fourni pendant une durée égale à la durée moyenne d'un arrosage, vérifient des conditions fixées a priori (à la suite de cette étude agronomique).

b) Conditions de coût

Il faut, parmi les systèmes matériels vérifiant les conditions techniques ci-dessus, déterminer celui dont le coût est minimum, compte tenu des frais de pompage, d'exploitation, de maintenance, d'entretien, etc... On peut à cet optimum, imposer des contraintes telles que des bornes aux dépenses effectuées avant, au cours, après une période ou entre deux périodes, etc.

Même en nous bornant au cas généralement rencontré où l'on peut définir une période de pointe et où le réseau est ramifié avec un seul réservoir situé en tête du périmètre on ne dispose pas d'une méthode théorique rigoureuse permettant de résoudre un tel problème.

On a donc été conduit à adopter un procédé d'étude consistant à scinder le problème d'ensemble en trois problèmes successifs :

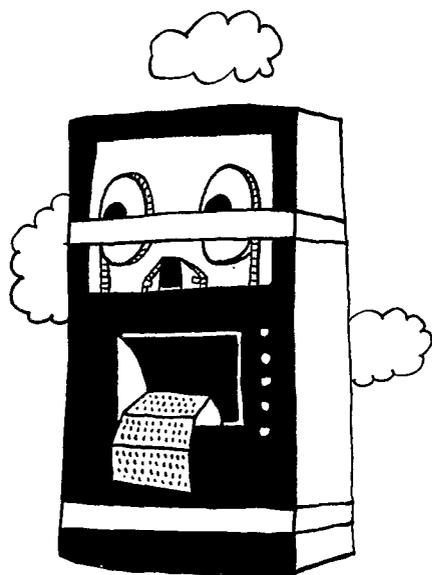
1. Détermination du tracé.

2. Détermination de la distribution de débit sur les tronçons.

3. Détermination des diamètres et des caractéristiques des stations de pompage et du réservoir, de façon que pour cette distribution de débit le coût soit minimum.

Quoique cette méthode ne soit pas absolument rigoureuse, elle a conduit par rapport aux procédés empiriques de calcul, à des économies si considérables (allant jusqu'à 50 % du coût de projet) qu'elles justifient pleinement l'emploi d'un tel procédé.

Il n'est pas possible, dans le cadre de la présente note de donner autre chose qu'un aperçu des nombreuses recherches qui ont été menées à cette occasion, mais nous sommes prêts à fournir sur ce sujet des renseignements précis aux lecteurs qui nous le demanderaient.



C.V.

sa vérité.

1. Détermination du tracé.

Il est obtenu en appliquant la méthode de Girette (Ingénieur Conseil à Aix-en-Provence). Elle utilise une propriété locale fournissant les angles des trois tronçons permettant de joindre trois points fixés a priori de façon que le prix P de ces trois tronçons soit minimum lorsqu'il s'exprime par une forme linéaire et

$$\text{homogène } P = \sum_{i=1}^{i=3} P_i l_i \text{ où } l_i \text{ est la longueur du tronçon } i \text{ et } p_i \text{ le prix unitaire relatif à ce tronçon.}$$

On trace le réseau en appliquant successivement cette propriété dont le caractère « local » entraîne que la solution dépend de l'ordre de jonction adopté par le projeteur pour réunir les différentes prises. Si cette circonstance rend malaisé un calcul automatique du tracé, elle ne laisse en fait au projeteur qu'un choix entre un nombre très limité de solutions. Aussi, quoiqu'elle laisse place *théoriquement* à un certain empirisme cette méthode est en fait très précise et elle doit, de façon impérative être utilisée car on a pu constater que son emploi permet des économies très considérables (de l'ordre de 20 % sur le coût des canalisations).

Au départ on ignore le diamètre de la canalisation qui sera portée par chacun des tronçons et l'on prend $p_1 = p_2 = p_3$. Les trois tronçons précités font alors un angle de 120° . On utilise le tracé ainsi obtenu pour calculer les débits et les diamètres, ce qui fournit alors trois valeurs p_1, p_2, p_3 . On redétermine sur cette base un nouveau tracé qui se révèle toujours très voisin du premier. Cette circonstance qui n'a pu recevoir de démonstration, mais qui peut être expliquée est des plus bénéfiques pour les projeteurs en raison des grandes simplifications qu'elle apporte.

2. Détermination des débits.

Elle repose sur le fait qu'une certaine « défaillance » sur le réseau peut être tolérée si elle entraîne une diminution importante de son coût. Pour être plus précis on accepte que le réseau puisse ne pas satisfaire totalement une demande dont la faible probabilité permet de considérer qu'il s'agit là d'une circonstance à caractère aléatoire, locale et de courte durée. (Il est impossible de fournir plus de précision à ce sujet).

Abstraction faite des tous petits réseaux, les débits sont en France toujours calculés à la machine. En particulier les Compagnies d'Aménagement, la S.O.G.R.E.A.H., la S.E.M.A., etc. disposent de programmes donnant entièrement satisfaction reposant, soit sur la première, soit sur la seconde formule dites de la demande dues à René Clément (I.C.G.R.E.F., S.C.P.). Toutefois la S.O.G.R.E.A.H. utilise aussi une méthode due à MM. de Boissezon, Hait (S.O.G.R.E.A.H.) et Bouria (Compagnie des Coteaux de Gascogne) qui introduisent la notion de « probabilité d'irrigation d'un élément de surface » qui conduit à une explication différente de

la « probabilité de fonctionnement d'une prise ». Nous n'analyserons pas ici cette dernière méthode.

2.1. La première formule de la demande.

T, T', D, d, R, p étant respectivement la durée de la période de pointe, la durée de fonctionnement réel du réseau au cours de cette période, le débit fictif continu correspondant à la totalité du périmètre desservi, le débit moyen d'une prise, le nombre total de prises, la probabilité moyenne de « fonctionnement » d'une

$$\text{prise, nous avons : } p = \frac{D}{rRd} \text{ avec } r = \frac{T'}{T}.$$

La probabilité pour que sur les R prises du réseau il y en ait au plus N en fonctionnement simultané est donc $P_N = \sum_{i=0}^{i=N} C_i^R p^i q^{R-i}$

$$\text{où } q = 1 - p.$$

L'application de la formule de Stirling conduit à l'explicitation de la probabilité $P(X)$ pour que le débit appelé sur le réseau soit au plus égal à X .

On a :

$$P \left\{ \frac{X - Rpd}{\sqrt{Rpdq}} \leq U \right\} = \Pi(u) \text{ où } \Pi(u)$$

est la fonction de répartition de Laplace-Gauss. U appelé « qualité de fonctionnement du réseau » étant fixé, le débit de transport du premier tronçon amont du réseau est pris égal à Q avec

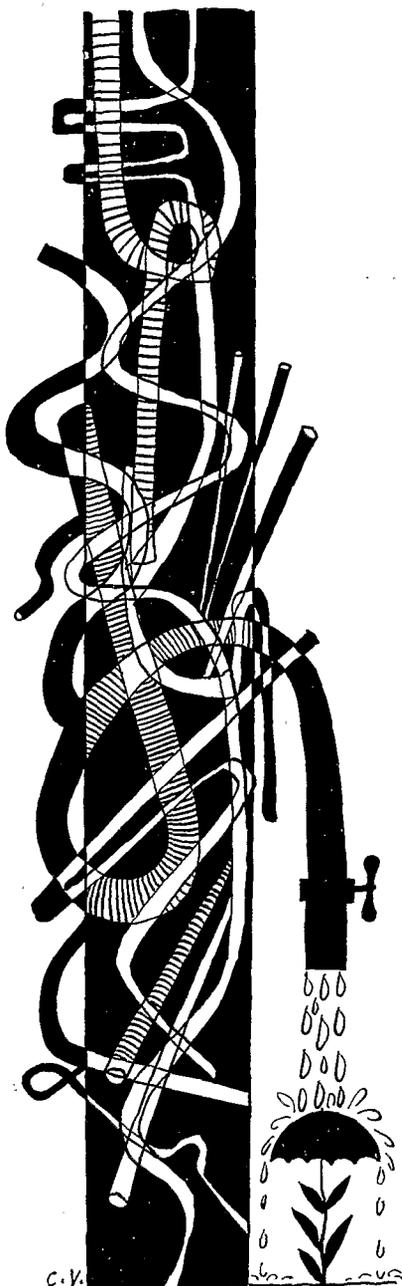
$$Q = Nd = Rpd + U(p) \sqrt{Rpdq^2}$$

On détermine de la même façon le débit sur le premier tronçon d'un sous-réseau ramifié quelconque, lorsque la probabilité P_s relative à ce sous-réseau est fixé. Le choix de P_s assez subjectif résulte de considérations tenant à la logique et à l'examen du comportement réel des réseaux déjà construits. Actuellement, les projeteurs font varier P de 0,99 aux extrémités à 0,95 et même 0,90 en tête. Le cas de prises débits moyens différents se traite sans difficulté par application des formules bien connues $\bar{m} = \sum \bar{m}_r, \sigma = \sqrt{\sum \sigma_r^2}$.

2.2. La seconde formule de la demande.

Elle a pour origine le fait que l'on peut valablement reprocher à la première formule de la demande de ne pas tenir compte des appels rejetés. La théorie fait appel aux processus de naissance et de mort, cas particuliers des processus de Markov. Clément définit l'état E_j du réseau par le nombre j de prises en fonctionnement et introduit la notion de réseau calibré pour transporter le débit de N prises. Il considère qu'un appel est rejeté ou satisfait selon que le réseau est ou non encombré lorsqu'il survient donc selon que le nombre de prises ouvertes j est, ou non, au moins égal à N .

Une exposition parfaite de cette théorie est donnée par Clément dans le numéro spécial n° 5, 1966 de la « Houille Blanche » où l'auteur consacre en outre un important développement au calcul des ouvrages tels que réserves à l'aide de procédés de ce type.



L'optimisation des tuyaux.

3. Détermination du système matériel (diamètre des canalisations, Cote des réservoirs, hauteur manométrique des pompes constituées par le réseau

Nous ne mentionnerons que les méthodes qui donnent directement les diamètres choisis dans des séries commerciales que l'on peut se fixer a priori. Quoiqu'elles soient valables pour une distribution de débit quelconque, il est clair que l'on introduit toujours des débits qui ont été calculés à l'aide des méthodes exposées ci-dessus.

MM. Biesel et Arnaud (S.O.G.R.E.-A.H., 1958) furent, à notre connaissance, les premiers au monde à employer un ordinateur pour la résolution d'un tel problème. Si des méthodes, préférables à notre avis, ont remplacé maintenant leur procédé de calcul, il rendit lors de sa création de très importants services en permettant alors de faire des économies très considérables sur le coût des réseaux.

Les prix des canalisations étant des fonctions linéaires des longueurs des canalisations, on peut résoudre le problème à l'aide du programme linéaire. M. Savy (I.B.M., 1961) fut le premier à nous proposer l'utilisation de cette méthode, notre rôle se bornant à lui indiquer les évidentes équations correspondantes. La véritable difficulté du problème résidait dans la programmation (en raison du nombre très considérable de données et contraintes de charge à introduire) qui fut parfaitement menée par M. Savy en collaboration avec M. Fabre (Bureau Lepetit).

La programmation linéaire fut abandonnée par I.B.M. en 1963 qui la remplaça par la méthode discontinue que nous avons proposée en 1960 et qui fournit le même résultat pour un coût très nettement inférieur. Si, à notre connaissance cette méthode est à peu près la seule utilisée pour les réseaux d'irrigation ramifiés, il convient de mentionner que les deux méthodes précitées peuvent, avec profit, être employées pour certains types de problèmes.

Vellinger (I.C.G.R.E.F.) nous apporta une importante contribution pour la généralisation de cette méthode qui permet de déterminer les hauteurs manométriques optimales des pompes et surpresseurs, les cotes optimales des réservoirs pour la quasi totalité des cas susceptibles d'être rencontrés pour les réseaux maillés.

Citons aussi les apports de M. de Palma et M. Edet (alors à l'I.M.S.A.C.), MM. Martin, Mani, Chatin (I.M.S.A.C.), Mitrani, Beuillon (I.B.M.), Queutin, Rousseaux, Coeuret et bien d'autres participèrent à l'écriture de programmes utilisant cette méthode. M. Bernadat (BULL) écrit le programme pour le cas où l'on s'impose comme contrainte de ne pas changer de diamètre sur un tronçon de débit constant.

L'optimisation des diamètres, des cotes des réservoirs et des hauteurs manométriques des différentes pompes entraîne des gains sur le coût du réseau (exploitation, entretien, etc., inclus) va-

riant de 12 % à 3 % selon que la topographie du terrain est plus ou moins tourmentée. Cette comparaison a été faite par confrontation avec les résultats fournis par des projeteurs très entraînés de bureaux d'études spécialisés.

Parmi les autres problèmes pouvant se poser pour le calcul du système matériel précité citons :

a) Le cas où l'on doit considérer plusieurs régimes de débits qui se présentent lorsque la période de pointe ne survient pas au même moment sur l'ensemble du réseau. On peut, grâce à certaines propriétés de la courbe représentant le prix minimum d'un tronçon bénéficiant de simplifications permettant avec profit l'utilisation de méthodes de programmation dynamique.

b) On doit à Galand (S.T.C.T.H.) une méthode permettant une généralisation des programmes de calculs actuels au cas d'ailleurs fréquent de réseaux munis d'un réservoir de régulation intercalé dans le réseau ou placé à une extrémité aval.

c) Nous avons résolu plusieurs cas particuliers simples de renforcement d'un réseau en collaboration avec Vellinger.

d) Signalons qu'on peut, moyennant une modification des plus simple du programme de la méthode discontinue, traiter le cas où l'on désire assurer le meilleur service possible à l'utilisateur lorsque des raisons techniques empêchent de donner au réservoir de tête une cote égale au minimum souhaitable.

e) Nous avons présenté au Symposium de Mexico et au Congrès de Vienne (A.E.P.) une méthode de calcul des réseaux maillés faisant appel au programme linéaire à variables mixtes permettant de résoudre des problèmes extrêmement complexes d'optimisation de réseaux maillés. Ce procédé s'appuie sur la faculté de rendre le problème « linéaire » en linéarisant par section la fonction représentant la perte de charge grâce à l'emploi de variables booléennes.

On peut ainsi déterminer un choix optimum parmi un ensemble de tracés, envisager une modification optimale du réseau et de sa gestion technique en fonction du temps, tant en ce qui concerne les canalisations que les pompes, réservoirs, brise-charges, etc., dont on peut aussi optimiser la position. Ceci résoud évidemment les problèmes de doublement, renforcement de canalisations et ouvrages. Une « sorte de méthode de Clément » peut être introduite en vue du cas particulier des réseaux d'irrigation.

Si le coût du calcul et aussi la limitation pratique des possibilités des programmes à variables mixtes actuels limitent le champ d'application de cette méthode, soit aux tous petits réseaux, soit aux très grands où l'on peut dégager valablement la notion de réseau d'ossature, il est clair que son emploi se généralisera dans un avenir d'autant moins éloigné que les progrès apportés aux calculatrices et au software augmente-

ront rapidement les performances véritables des ordinateurs.

C'est à notre avis, la seule méthode véritablement valable pour ce problème où l'on doit faire face à des difficultés de non unicité de l'extrémum avec un nombre de variables extrêmement élevé.

4. Examen critique du procédé de calcul du réseau de distribution ; la caractéristique réseau, le modèle de Rousseau.

Nous nous bornons ici au cas du réseau ramifié avec station de pompage ou réservoir unique situé en tête, le tracé ayant été fourni par la méthode de Girette, le procédé de calcul consistant en un emploi conjoint d'une des formules de Clément et de la méthode discontinue.

On voit immédiatement qu'on peut faire, au moins théoriquement, quelques réserves en ce qui concerne la validité d'un tel procédé d'étude.

1. L'équation de continuité aux nœuds n'est pas vérifiée. (C'est d'ailleurs tout l'intérêt de la méthode de Clément).

2. Les probabilités prises en compte par Clément n'expriment pas directement la « qualité » du service rendu à chaque utilisateur tel qu'on l'a défini au début du présent chapitre IV.

Il est clair que le comportement du réseau, tel que l'envisage l'agriculteur lorsqu'il ouvre sa prise dépend, non seulement du nombre de prises déjà ouvertes mais des positions de ces éléments, et du système matériel constitué par le réseau par suite de l'intervention de la topographie et des pertes de charge.

Par suite, la notion de réseau calibré pour N prises et la définition de l'état du réseau adoptées par Clément peuvent prêter à contestation.

3. Lorsque la charge restante ne permet pas qu'une prise reçoive lors de son ouverture un débit égal à d , toute valeur comprise entre 0 et d peut éventuellement être obtenue et le schéma $q = d$ ou zéro, ne représente pas parfaitement la réalité.

En un mot, la première formule de Clément exprime des débits appelés sans faire état de possibilité de rejet, alors que la seconde fait appel à un schéma de rejet qui représente imparfaitement la réalité. Ceci montre que le procédé de calcul « Clément + méthode discontinue » n'est qu'une approche de la solution recherchée et que le traitement du problème en deux sous-problèmes successifs peut au moins théoriquement faire l'objet de critiques valables. En fait, il n'existe pas de méthode absolument rigoureuse permettant de résoudre complètement le problème du calcul d'optimisation du réseau d'irrigation même dans le cas relativement simple envisagé ici.

Mentionnons qu'une telle circonstance se rencontre en fait dans tout problème d'optimisation et il est toujours néces-

saire de considérer des schémas simplifiés si l'on veut aboutir à un résultat concret.

Pratiquement, on a toujours soit des schémas théoriques imparfaits ou conduisant à des temps de calcul prohibitifs, soit de telles incertitudes sur les données que les meilleures méthodes ne fournissent qu'une précision factice.

Mais si un minimum d'honnêteté intellectuelle commande de faire ressortir les imperfections théoriques des procédés de calcul dont on dispose, il serait *ridicule* de les abandonner alors même qu'ils permettent ainsi qu'on l'a pleinement montré plus haut, d'obtenir des économies très considérables sur le coût des réseaux.

On pensa donc, fort judicieusement, qu'il importait seulement de mettre en œuvre des procédés permettant de contrôler et de retoucher de façon appropriée, le résultat fourni par les procédés de calcul dont on dispose, que ce serait une sécurité en qui concerne la qualité du service rendu à l'utilisateur d'obtenir une solution dont le coût resterait voisin de l'optimum déjà atteint.

a) La caractéristique réseau

Z étant la charge à l'extrémité amont du réseau et Q le débit effectivement transporté sur le premier tronçon, nous appellerons caractéristique réseau la fonction Z (Q) ayant les propriétés suivantes :

1. Pour tout Q il faut et il suffit que, quelle que soit la distribution spatiale sur les réseaux des appels dont la somme est égale à Q les appels soient satisfaits.

2. Pour Q quelconque, mais fixé, Z (Q) est la plus petite valeur de Z permettant d'assurer ce service.

Ainsi que nous l'avons montré dans le rapport que nous avons présenté au Symposium de Mexico, le calcul de la valeur exacte de Z (Q), qui est une fonction monotone de Q est particulièrement simple. Elle a pour intérêt pratique de permettre une retouche du réseau permettant de calculer avec plus de sécurité la cote du réservoir de tête où la hauteur manométrique des pompes, la valeur Z fournie par cette méthode pouvant éventuellement être supérieure à celle fournie par la méthode discontinue pour le débit Q, sur le premier tronçon donné par la méthode de Clément.

b) Le modèle de Rousseaux (S.C.P.)

Il a essentiellement pour but de préciser le service effectivement fourni à l'utilisateur en donnant la distribution statistique de la charge et du débit fournis à une prise choisie arbitrairement, au cours d'un arrosage.

On y parvient en faisant état de l'existence d'un processus stationnaire limite et de différentes propriétés statistiques du comportement d'un réseau signalé par Clément dans son étude. On utilise aussi un procédé très simple tiré de principes utilisés pour la méthode discontinue et permettant de déterminer très

rapidement, en respectant l'équation de continuité, la distribution des débits (donc des charges) sur le réseau lorsqu'on modifie l'état du réseau en ouvrant ou fermant une prise, un état quelconque du réseau étant défini par le nombre et la position spatiale des prises ouvertes.

La détermination du débit des prises, qui pour chacune d'elle peut varier de zéro à d, fait intervenir les caractéristiques techniques des régulateurs. Tout ceci permet de simuler fort bien le fonctionnement du réseau, l'ouverture et la fermeture des prises étant obtenues à la suite de tirages du type Monte-Carlo.

Il n'y a lieu d'enregistrer que le comportement des quelques prises, celles dont la position et l'altitude permettent de considérer qu'elles risquent de n'être pas satisfaites.

Le coût d'une telle simulation pouvant se révéler assez élevé, on envisage de se borner à l'étude de quelques réseaux type afin de mieux évaluer les valeurs de la qualité de fonctionnement à adopter pour les formules de Clément sur les différents sous réseaux.

On notera à ce sujet qu'une grande cohésion se révèle en ce qui concerne les distributions de débits obtenues quand on adopte pour les différents paramètres les valeurs proposées par les auteurs et projeteurs à la suite des expériences effectuées dans les Compagnies. En fait, les différentes formules proposées donnent des valeurs si voisines que les divergences ne peuvent influencer de façon appréciable sur le coût et les caractéristiques des réseaux et l'on peut se demander si l'on n'attache pas trop d'importance à certaines formes de rigueur sans incidence véritable.

V. AUTRES PROBLÈMES TECHNIQUES POSÉS PAR LES PROJETS D'IRRIGATION

Comme il n'est guère de science qui n'intervienne plus ou moins dans nos projets, il faut se livrer à un choix des plus contestable et n'ayant aucun caractère limitatif. Nous nous bornerons donc à mentionner quelques études à caractère très général, applicables avec profit à nos projets.

C'est le cas des problèmes de topographie (I.G.N.) de construction, de terrassement, d'organisation de chantiers, auxquels les Ingénieurs de l'Ecole des Ponts et Chaussées ont apporté une contribution qui leur a permis d'acquérir une réputation mondiale. Citons les services de calcul spécialisés de services publics (E.D.F., Ponts-et-Chaussées) ou privés (Cabinet Coyne par exemple) disposant de bibliothèques de programmes très importantes.

Signalons que des organismes tels que la S.O.G.R.E.A.H., la S.C.P. disposent de programmes permettant d'appliquer la méthode Pert aux travaux d'exécution des réseaux d'irrigation.

Mentionnons que la S.C.P. utilise avec profit pour les problèmes de tracés et de terrassement des canaux le programme

particulièrement complet établi par le Service Spécial des Autoroutes d'Aix-en-Provence (Ponts-et-Chaussées).

Il va donc sans dire que de nombreux bureaux d'études (S.O.G.R.E.A.H. Chatou, etc.) disposent de programmes permettant de calculer les surpressions dues aux coups de bélier.

Pour le compte de la S.T.C.T.H. l'équipe de chercheurs de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse a établi un programme permettant d'obtenir les surpressions résultant d'un changement volontaire ou accidentel du régime de fonctionnement d'un réseau (arrêt, mise en marche de groupe, ouverture ou fermeture de vannes, rupture de canalisations, etc.). Ce programme définira les règles de gestion technique et les appareils de mesure, contrôle et commande à adopter dans le cas d'un fonctionnement manuel, semi-manuel ou automatique du réseau.

Ce n'est là qu'un exemple de la contribution apportée par cette équipe de chercheurs (MM. Nougaro, Thirriot, Gruat, Dat, Barthes, Jean, etc.) sous la direction de M. le Pr. Escande, membre de l'Institut.

VI. ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE

Si l'impérative nécessité de « suivre le sol » rend malaisée, voire même non souhaitable, la réalisation d'un programme permettant de calculer de tels réseaux dans le cas le plus général, il est par contre toujours possible de résoudre chaque problème qui se pose en faisant usage des différents sous programmes mentionnés plus haut et de quelques programmes spécifiques. (En particulier ceux régissant les écoulements à surface libre et le comportement des nappes). Il en va ainsi pour les problèmes de polder, d'aménagement de rizières de delta toujours fort complexes. Rappelons le problème d'aménagement du Mékong, cité plus haut, résolu par S.O.G.R.E.-A.H.

VII. PROBLÈME POSÉ PAR LES MODALITÉS ACTUELLES D'EXPRESSION DES INFORMATIONS

Qu'il s'agisse de données ou résultats, intermédiaires ou définitifs, on est souvent désarmé devant l'ampleur des informations fournies par les ordinateurs, qui rend souvent très malaisée leur exploitation, lorsqu'on désire obtenir rapidement une « vue d'ensemble » de l'affaire. C'est dire l'importance des « procédés de visualisation », qui par une représentation « dynamique spatio-temporelle » des phénomènes étudiés, permettent, quasi immédiatement, de discerner les aspects les plus importants du problème et de concentrer l'attention sur les résultats les plus intéressants.

Ainsi, à titre d'exemple, une exploitation par film de résultats de calcul de mouvements transitoires à surface libre a

permis au Laboratoire d'hydraulique de Chatou (E.D.F.) de fournir des renseignements sur un écoulement en rivière, en quelques minutes de projection, alors que les moyens traditionnels auraient nécessité l'analyse de documents très volumineux.

CONCLUSION

Nous espérons que la présente note aura permis de montrer, malgré la nécessaire limitation de son format, l'essentiel des principes et méthodes utilisés en France pour l'étude des projets d'aménagement où l'hydraulique agricole joue un rôle prépondérant.

On peut constater que la contribution française, qu'il s'agisse des techniques d'étude et de calcul ou de la réalisation des ouvrages et installation est des plus substantielle. Mais le fait que nos techniques servent de modèle dans de nombreux pays ne saurait diminuer l'importance de l'apport et le mérite des chercheurs étrangers, ni faire oublier l'ampleur de la tâche qui reste à accomplir.

NOTATIONS UTILISÉES

I : Ingénieur ; I.C. : Ingénieur en Chef ; P.C. : Ponts et Chaussées ; G.R.E.F. : Génie

Rural Eaux et Forêts ; P. Fac. : Professeur de Faculté ; I.H.G. : Institut d'Hydraulique de Grenoble ; I.N.R.A. : Institut National de la Recherche Agronomique ; E.D.F. : Electricité de France ; I.G.N. : Institut Géographique National ; C.E.R.G.R. : Centre d'Etudes et de Recherches de Génie Rural ; X : Ecole Polytechnique.

BIBLIOGRAPHIE

I. — Etudes Agro-Economiques

Notes internes de la S.A.R.E.S., DE LA S.O.G.R.E.A.H., de la S.C.P., du Cabinet LEPETIT.

Problème de l'accession à l'irrigation (I.N.R.A. ; S.C.P. 1966).

Les exploitations agricoles du Bassin de la Laye (I.N.R.A. ; S.C.P. 1966).

II. — Calcul des Réserves

Notes internes S.O.G.R.E.A.H., S.C.P.

Houille Blanche n° 5/6965 (article de BERNIER et de ROUX).

Annales des Ponts-et-Chaussées, juillet-août 1967 (article de MOUY).

Bulletin Technique du Génie Rural n° 88.

III. — Régulation des Canaux

Notes internes de la S.O.G.R.E.A.H., de la S.C.P. et de l'E.D.F.

VI. — Calcul des Réseaux

Débits, canalisations, stations de pompage, régulation des stations, etc.

Houille Blanche n° 5/1966 (Ouvrage de base comportant des articles de CLEMENT, GUYON, BOURLA, VERDIER, LIEVRE, COMBES, LABAYE, etc...). Notes internes de la S.O.G.R.E.A.H. et de la S.C.P.

LISTE DES RAPPORTEURS ET TITRES DES RAPPORTS PRÉSENTÉS AU SYMPOSIUM MEXICO D'AVRIL 1969 SUR L'EMPLOI DES CALCULATRICES DANS LES PROBLÈMES D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE

Application of computers to compare developments in water demand and supply in complex irrigation system—by W.R. Rangeley and D.G. Knott (Great Britain).

Simulation of an irrigation system for the design of main channels—by Eng. Eugenio Laris Alanis and Romarico Arroyo Marroquin (Mexico).

Slope stability analysis of earth dams and similar structures—by V.S. Thakar and A.S. Apte (India).

Computer applications in irrigation and drainage, a philosophic contribution—and a case history—by E.S. Trickett and P.M. Flemming (Australia).

Application of electronic computers to irrigation and drainage system problems—by Francis E. Swain (U.S.A.).

Optimal design of an irrigation system—by Dietmar Onigkit, Christian Kim and Beat Schmid (Switzerland).

Use of computers for the analysis of various problems with regard to irrigation and drainage works—by J. Muehlbauer (Germany, F.R.).

L'utilisation en France des calculatrices électroniques pour des projets d'irrigation et d'assainissement—essai de synthèse—par Y. Labye (France).

Use of mathematical methods and computing technique in the practice of irrigation and drainage in the U.S.S.R.—by L.V. Dunin-Barkovsky (U.S.S.R.).

The application of computers to the analysis of water supply systems in Israel—by Dr. Ilan Amit (Israel).

