

CEA-R 3072 - GAUSSENS Jacques

LE DIMENSIONNEMENT OPTIMUM DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION MIXTE D'EAU DESSALEE ET D'ELECTRICITE FAISANT INTERVENIR L'ENERGIE NUCLEAIRE

Sommaire. - Le problème est présenté en introduisant la notion de courbes de demande d'eau et d'électricité, ce qui permet d'aboutir à un partage rationnel des coûts de revient entre eau et électricité dans le cadre d'un marché.

L'objet de l'étude est, à partir des principes de l'économie classique, de donner des critères objectifs de sélection des dimensions des installations et des techniques de dessalement et d'en déduire une méthode normative de tarification des deux produits liés : eau et électricité, en collant autant que possible à la structure de la demande.

Ces critères sont en particulier, soit le maximum de bénéfice de l'exploitant, soit le maximum de satisfaction des utilisateurs, c'est-à-dire la réalisation d'un optimum collectif. Ils se traduisent soit par l'égalité des coûts marginaux et des recettes marginales, soit par l'égalité des coûts marginaux et des satisfactions marginales (théorie des surplus).

./.

CEA-R 3072 - GAUSSENS Jacques

CHOICE OF OPTIMUM SIZE OF INSTALLATIONS FOR DUAL-PURPOSE PRODUCTION OF DESALTED WATER AND ELECTRICITY, USING NUCLEAR POWER

Summary. - The author used a method starting with water and power demand curves ; this leads to the rational allocation of production costs to water and power within a given market. The power demand curve is needed as it seems improbable to sell at a constant price the enormous quantity of electricity produced by a dual purpose plant. Criteria based on principles of classical economics, help to select objectively desalination methods and plant sizes. On these criteria, normative methods for tariffing action of water and power can be based, while adhering as closely as possible to structure of demand.

Examples of such criteria are the maximum profit of the supplier or the maximum satisfaction of the consumers taken collectively. In the first case marginal costs must be equated to marginal revenue, in the second one marginal cost to marginal satisfaction (theory of surpluses). The plant size often determines the choice of desalination process. Therefore the

./.

Les dimensions des installations déterminant souvent le choix des procédés on peut conclure de ces considérations que ces choix sont étroitement fonction :

- de la forme de la courbe de demande d'eau
- du critère économique choisi (gestionnaire public ou privé, limitation des investissements, etc....)

Ceci rend donc indispensable des études de marché accompagnées d'une analyse économique assez fine, préalablement à toute décision du choix des techniques de dessalement.

1966

49 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

shape of the water demand curve and the economic criterion adopted (public or private ownership, capital restrictions etc.) often determine in this way both size and type of plant. Before deciding on the desalination technique, market surveys and rather subtle economic analyses are therefore necessary.

1966

49 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**LE DIMENSIONNEMENT OPTIMUM DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION
MIXTE D'EAU DESSALEE ET D'ELECTRICITE
FAISANT INTERVENIR L'ENERGIE NUCLEAIRE**

par

Jacques GAUSSENS

Rapport C E A - R 3072

JES

LISTE DES RAPPORTS ECONOMIQUES DEJA PARUS :

Rapport CEA - R 2325	CALCUL DES IMMOBILISATIONS FINANCIERES DES CYCLES DE COMBUSTIBLE	"CALCULATION OF THE WORKING CAPITAL INVESTED IN FUEL CYCLES AND ITS INTEREST CHANGES"	J. GAUSSENS	Novembre 1963
Rapport CEA - R 2458	RECHERCHE D'UNE POLITIQUE DE GESTION DU COMBUSTIBLE D'UNE PILE PISCINE	"CALCULATION OF AN OPTIMUM FUEL POLICY FOR A POOL TYPE RESEARCH REACTOR"	Dépt des Programmes S E E G	Mai 1964
Rapport CEA - R 2541	ETUDE ECONOMIQUE DU SITE DE MARCOULE	"AN ECONOMIC STUDY OF THE SITE OF MARCOULE"	H. DUPRAT	Août 1964
Rapport CEA - R 2642 Genève 64 Conf 28/P/98	PERSPECTIVES A LONG TERME DES COUTS DE TRAITEMENT DE L'URANIUM NATUREL IRRADIE, TAILLES ET LOCALISATIONS OPTIMALES DES USINES	"LONG-TERM PROSPECTS OF IRRADIATED NATURAL URANIUM PROCESSING COSTS. OPTIMUM PLANT SIZES AND SITES"	L. THIRIET C. OGIER P. DE VAUMAS	Août 1964
Rapport CEA - R 2646 Genève 64 Conf 28/P/91	ETUDE SUR LA PRODUCTION D'EAU LOURDE EN FRANCE	"STUDY OF THE PRODUCTION OF HEAVY WATER IN FRANCE"	B. LEFRANCOIS J.M. LERAT E. NOTH	Août 1964
Rapport CEA - R 2648 Genève 64 Conf 28/P/89	ENSEIGNEMENTS TIRÉS DES ETUDES ET REALISATIONS FRANÇAISES RELATIVES A LA SEPARATION DES ISOTOPES DE L'URANIUM	"DEDUCTIONS BASED ON STUDIES OF URANIUM ISOTOPE SEPARATION AND FRENCH ACHIEVEMENTS IN THIS FIELD"	C. FRIJACQUES R. GALLEY	Août 1964
Rapport CEA - R 2669 Genève 64 Conf 28/P/64	COUT DE TRANSPORT DES COMBUSTIBLES IRRADIES ET COUT D'ENTRETIEN D'UNE USINE DE TRAITEMENT CHIMIQUE DES COMBUSTIBLES IRRADIES	"COST OF TRANSPORTING IRRADIATED FUELS AND MAINTENANCE COSTS OF A CHEMICAL TREATMENT PLANT FOR IRRADIATED FUELS"	Y. SOUSSELIER	Août 1964
Rapport CEA - R 2685 Genève 64 Conf 28/P/46	ASPECT ECONOMIQUE DES REACTEURS PRODUISANT DE L'ELECTRICITE ET DE LA CHALEUR INDUSTRIELLE	"ECONOMIC ASPECTS OF ELECTRICITY AND INDUSTRIAL HEAT GENERATING REACTORS"	J. GAUSSENS M. MOULLE F. DUTHIEL J. ALDEBERT	Août 1964
Rapport CEA - R 2689 Genève 64 Conf 28/P/41	LA FILIERE DES REACTEURS A NEUTRONS RAPIDES EN FRANCE	"THE FAST NEUTRON REACTOR SERIES IN FRANCE"	J. VENDRYES J. GAUSSENS R. PASQUER	Août 1964
Rapport CEA - R 2692 Genève 64 Conf 28/P/37	QUELQUES ASPECTS ECONOMIQUES DE LA FILIERE URANIUM NATUREL - GRAPHITE - GAZ	"SOME ECONOMIC ASPECTS OF NATURAL URANIUM GRAPHITE GAS REACTOR TYPES"	J. GAUSSENS P. TANGUY B. LEO	Août 1964
Rapport CEA - R 2795	ETUDE DES VALEURS ET DES PRIX DU PLUTONIUM A LONG TERME - UN MODELE PARAMETRE SIMPLIFIE	"STUDY OF THE LONG-TERM VALUES AND PRICES OF PLUTONIUM - A SIMPLIFIED PARAMETRISED MODEL"	J. GAUSSENS H. FAILLLOT	Mai 1965
Rapport CEA - R 2866	OPTIMISATION DES CYCLES DE COMBUSTIBLE : VALEURS MARGINALES DES PERTES	"FUEL CYCLE OPTIMISATION : MARGINAL VALUES OF LOSSES"	J. GAUSSENS B. DE LASTEYRIE J. DOUMENC	Août 1965
Rapport CEA - R 2937	COUTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION DES USINES DE RETRAITEMENT DE L'URANIUM NATUREL IRRADIE	"CAPITAL AND RUNNING COSTS OF THE REPROCESSING PLANTS OF IRRADIATED NATURAL URANIUM"	L. THIRIET C. JOANNAUD J. COUTURE J. DUBOZ C. OGIER	Janvier 1966
Rapport CEA - R 3022	MODELE MATHEMATIQUE DU COUT DU TRANSPORT MARITIME - APPLICATION A LA COMPETITIVITE DU NAVIRE NUCLEAIRE -	"MATHEMATICAL MODEL OF THE MARITIME TRANSPORT COST - APPLICATION TO THE COMPETITIVITY OF A NUCLEAR SHIP"	C. DORVAL	Mai 1966
Rapport CEA - R	LE DIMENSIONNEMENT OPTIMUM DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION MIXTE D'EAU DESSALEE ET D'ELECTRICITE FAISANT INTERVENIR L'ENERGIE NUCLEAIRE	"CHOICE OF OPTIMUM SIZE OF INSTALLATIONS FOR DUAL-PURPOSE PRODUCTION OF DESALTED WATER AND ELECTRICITY, USING NUCLEAR POWER"	J. GAUSSENS	Juillet 1966

LISTE DES RAPPORTS ECONOMIQUES A PARAITRE :

OPTIMISATION DES REACTEURS A COMBUSTIBLE ANNULAIRE	"OPTIMISATION OF ANNULAR FUEL REACTORS"
ASPECT ECONOMIQUE DE LA SECURITE DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE	"ECONOMIC ASPECT OF THE SECURITY IN THE FIELD OF ENERGY"
INCIDENCE DE LA CONSTRUCTION D'UN CENTRE NUCLEAIRE DANS LA REGION DE BORDEAUX SUR LE MARCHE REGIONAL DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS	"INFLUENCE OF A NUCLEAR CENTER ESTABLISHMENT IN THE BORDEAUX AREA ON THE REGIONAL BUILDING AND PUBLIC WORKS MARKETS"
LE STOCKAGE DES EFFLUENTS	"WASTES STORAGE"
TAILLE ET LOCALISATION OPTIMALE DES USINES DE TRAITEMENT ASSOCIEES A UN PROGRAMME DE CENTRALES NUCLEAIRES	"OPTIMAL SIZE AND SITE OF THE REPROCESSING PLANTS RELATED TO A PROGRAMME OF ATOMIC PLANTS"

Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.

The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.

- Rapport CEA-R 3072 -

Section des Etudes Economiques Générales
DREP - DPg

LE DIMENSIONNEMENT OPTIMUM DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION MIXTE D'EAU DESSALEE ET D'ELECTRICITE FAISANT INTERVENIR L'ENERGIE NUCLEAIRE

par

J. GAUSSENS

CHOICE OF OPTIMUM SIZE OF INSTALLATIONS FOR DUAL-PURPOSE PRODUCTION OF DESALTED WATER AND ELECTRICITY, USING NUCLEAR POWER

by

J. GAUSSENS

"Ce rapport a été présenté au premier Symposium International du Dessalement de l'Eau de Mer Washington 3-9 Octobre 1965".

**CHOICE OF OPTIMUM SIZE OF INSTALLATIONS FOR DUAL-PURPOSE
PRODUCTION OF DESALTED WATER AND ELECTRICITY, USING NUCLEAR POWER**

I - INTRODUCTION

It is current practice to define the price of a cubic metre of desalted water from a dual-purpose plant by attributing a given value to the price of the kWh sold, whatever the size of the plant, and to assume that the quantities of water and electricity produced under these conditions will all be sold on the market at cost price.

As a current practice too, the steam released by the generator is given a value depending on its enthalpy ; this idea of value is then used to solve the problem of distributing the steam generating costs over electricity production and water processing.

This concept is of great interest when determining the respective amounts of heat and electricity to be produced and, in this respect, when choosing the type and capacity of the electricity generator as well as the type and capacity of the soft water generating plant, so as to achieve an economic optimum.

But in most cases these quantities are not determined and the real problem consists in meeting a demand of electricity and water for which the price accepted by the consumers varies with the quantity of these two goods. Then, keeping these curves of demand in mind, one has, according to the economist's terminology, to choose the size and the characteristics of these dual purpose production plants. It is well known that the optimal characteristics and especially the optimal desalination methods, steam temperatures etc... vary themselves with the size of the plants ; thus we see that the real problem is very far from the simplified comparisons usually considered. This problem may be stated thus : given the demand curves : price versus quantity of water and electricity, what will be the size and characteristics of the dual purpose production plant, what methods will be used, with what desalination processes will the demand be met in the best economic conditions ?

LE DIMENSIONNEMENT OPTIMUM DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION
MIXTE D'EAU DESSALEE ET D'ELECTRICITE FAISANT INTERVENIR
L'ENERGIE NUCLEAIRE

I - INTRODUCTION

Il est courant de définir le prix du mètre cube d'eau dessalée à partir d'une installation mixte en attribuant au prix du kWh électrique vendu, une valeur déterminée, quelle que soit l'importance de l'installation et d'admettre que des quantités d'eau et d'électricité produites dans ces conditions seront toutes entières écoulées au prix de revient.

Il est également courant d'essayer d'attribuer à la vapeur sortant du générateur, une "valeur" dépendant de son enthalpie et de résoudre à l'aide de cette notion de valeur le problème de répartition des coûts de la production de vapeur, entre la production d'électricité et celle d'eau douce.

Cette notion a un intérêt certain lorsqu'on se fixe les quantités de chaleur et d'électricité à produire et que dans ce cadre, on cherche à choisir le type et la puissance du générateur d'énergie, le type et la capacité du générateur d'eau douce pour réaliser un optimum économique.

Mais, dans la plupart des cas, ces quantités ne sont pas fixées et le vrai problème consiste à satisfaire une demande d'électricité et d'eau dont le prix admis par les utilisateurs varie avec la quantité de ces deux produits. Il faut alors, compte tenu de ces courbes de "demande" selon la terminologie des économistes, choisir la taille et les caractéristiques des installations mixtes de production. Comme on sait bien que les caractéristiques optimales, et en particulier le choix optimal des procédés de dessalement, les températures de vapeur etc... varient elles-mêmes avec la taille des installations, on voit que le vrai problème s'éloigne assez considérablement des comparaisons simplifiées habituellement envisagées. Il peut s'énoncer ainsi : étant donné les courbes de demande : prix - quantité d'eau et d'électricité, quelle taille et quelles caractéristiques techniques dois-je adopter pour mon installation de production mixte, en particulier, quels sont les procédés de dessalement qui permettent de satisfaire cette demande dans les meilleures conditions économiques ?

Moreover, the existing desalination plants are relatively small and thus satisfy marginal water requirements for uses and under conditions such that the cost price is of minor importance.

If such small-size plants produce electric power, this will also have a marginal effect on the general electricity supplies. One can then justifiably speak of perfect flexibility of the demand to the price within the limits of this small-scale production, i.e., assume that prices are constant. The same is not true, however, of desalination plants, the power source of which is nuclear. It is known that in this case it is necessary to reach a certain size in a ratio of 50 or 100 with plants now existing in order for a sufficiently low cost to be obtained from the use of nuclear power.

It is thus no longer a question of producing marginal quantities of water and electricity to meet a demand which is constant in price within these limits, but of producing quantities large enough for an increasingly lower selling price to be matched by increasingly greater sales opportunities.

It can be understood that once the essential needs are satisfied (drinking water etc...) the quantity of water demanded is more and more a function of its profitability, i.e. its use value in industry and agriculture.

Similarly, when there is an opportunity for electricity supply from an interconnected grid, the sale of electricity produced in great quantity by the dual-purpose plant can only occur if there is a decreasing tariff depending on annual and daily quantities which is prejudicial neither to the owner of the grid nor to the consumers.

Finally, both the demand for water and the demand for electricity are developing with time. The population is increasing, its per capita income must increase, (in particular thanks to water and electricity), and thus the demand curves will alter with time.

It therefore seems essential, before taking a decision to build a large-size desalination plant, to examine the water and electricity market and the best means of satisfying them in each case, i.e. to select the optimum sizes and processes both for energy generation and for desalination.

The purpose of this paper is precisely to provide objective criteria for selection of size and process as well as reasonable systems for tariffification of the two linked products : water and electricity, criteria that ought to cut down the arbitrary and stick as much as possible to the demand structure.

De plus, les installations de dessalement existantes actuellement sont relativement petites et satisfont ainsi des besoins marginaux en eau, pour des usages et dans des conditions telles que le prix de revient importe peu.

Si de telles installations, de taille faible, produisent du courant électrique, celui-ci aura également un effet marginal sur l'approvisionnement général en électricité et on pourra, à bon droit, parler d'élasticité parfaite de la demande au prix dans les limites de cette petite production, c'est-à-dire, admettre que les prix sont constants. Mais il n'en va pas du tout de même lorsqu'il s'agit d'envisager des installations de dessalement dont la source d'énergie est nucléaire. On sait en effet que dans ce cas, il convient d'atteindre une certaine taille dans un rapport de 50 ou 100 avec les installations actuellement existantes pour que l'on puisse retirer de l'utilisation de l'énergie nucléaire un coût suffisamment bas .

Il ne s'agit plus alors de produire des quantités marginales d'eau et d'électricité qui s'adressent à une demande constante en prix dans ces limites, mais des quantités suffisamment importantes pour que, à un prix de vente de plus en plus bas, correspondent des possibilités de vente de plus en plus importantes.

On conçoit en effet qu'une fois les besoins essentiels (boisson etc...) satisfaits, la quantité d'eau demandée soit de plus en plus fonction de sa rentabilité, c'est-à-dire, de sa valeur d'usage dans l'industrie et l'agriculture .

De même lorsqu'il existe une possibilité d'alimentation en électricité par un réseau d'interconnexion, la vente du courant produit en grande quantité par l'installation mixte ne pourra intervenir que s'il y a un tarif dégressif en fonction des quantités annuelles et journalières qui ne défavorise ni le possesseur du réseau, ni les utilisateurs.

Enfin, tant la demande d'eau que la demande d'électricité évoluent dans le temps. La population s'accroît, son revenu per capita doit s'accroître (en particulier grâce à l'eau et l'électricité), donc les courbes de demande se déformeront avec le temps.

Il paraît donc indispensable avant de prendre une décision de construction d'une installation de dessalement de grande taille, d'étudier dans chaque cas, le marché de l'eau et de l'électricité et les meilleurs moyens d'y satisfaire, c'est-à-dire, de sélectionner les tailles et les procédés optimaux, tant pour la production d'énergie que pour le dessalement.

L'objet de cette note est justement de donner des critères objectifs de sélection des tailles et des procédés, et des systèmes rationnels de tarification des deux produits liés : eau et électricité, en limitant autant que possible l'arbitraire, et en collant autant que possible à la structure de la demande.

At a time when in France a national effort is emphasized to improve desalination techniques, it becomes important to have at one's disposal a strict tool of economic analysis of the technical methods envisageable, taking into account the country's needs for water, so as to direct at best the development studies and to avoid expensive dispersions.

Furthermore, this economic analysis will help to direct the efforts of selecting the desalting plants, their processes and sizes, in the various parts of the world where stringent needs for water are being felt.

However, optimum choices may derive from various premises entailed by the selection criteria used :

- an assumption that the owner of the dual-purpose plant is a private company, the main objective of which is the maximisation of the firm's profits ;
- an assumption that the owner is a community (national or local) for which the criterion must be that of maximum welfare, i.e. the maximum satisfaction of the consumers.

One may also assume that the plant operator's main object resides in the highest profitability rate, that is to say the highest income realizable in respect to the investment. One could assume too that this operator, either private or public, has only a limited budget or limited capital assets to be devoted to the resolution of the water supply problem of a region.

The size and specifications of the dual purpose plant will change according to the criterion chosen among the four mentioned above. It is therefore important to point out these variations so as to recall that the choice of process often results from the criteria choice and thus to prove that the selection of these criteria must be the object of a careful study previous to the establishment of any programme.

Given the brevity of this paper it will neither be possible to deal with the problem as a whole nor to give a detailed computation study of the mathematic models arrived at.

Thus we shall only deal briefly with a series of considerations :

- the shape of the demand curves
- the characteristics of the offer
- the principles of matching the offer and the demand so as to obtain an economic optimum as well as the technical choices entailed.

Au moment où on s'efforce en France de promouvoir un effort national d'amélioration des techniques du dessalement, il convient en effet de disposer d'un instrument d'analyse économique rigoureux des procédés techniques envisageables, compte tenu des besoins en eau du pays pour orienter au mieux les études de développement et éviter des dispersions coûteuses.

De même, cette analyse économique doit permettre de guider les efforts de sélection des procédés et des tailles des installations de dessalement dans les diverses régions du monde où se manifestent des besoins en eau importants.

Mais ces choix optimaux peuvent découler de diverses considérations liées aux critères de choix utilisés :

- on peut admettre que le propriétaire de l'installation mixte soit une entreprise privée dont l'objectif essentiel est la maximisation des bénéfices de sa firme ;
- on peut admettre que le propriétaire soit une collectivité (nationale ou locale) pour laquelle le critère doit être celui de "l'optimum collectif" (maximum welfare), c'est-à-dire, de la satisfaction maximale des utilisateurs.

On peut aussi envisager que le gestionnaire de l'installation cherche un taux de rentabilité maximal, c'est-à-dire, le revenu le plus élevé possible, compte tenu de son investissement. On peut également admettre que ce gestionnaire public ou privé ne peut consacrer à la résolution du problème de l'alimentation en eau d'une région, qu'un budget ou un investissement limité.

Selon que l'on utilisera l'un de ces quatre critères, la taille et les caractéristiques de l'installation mixte changeront. Il est donc important de signaler ces variations afin d'être conscient du fait que le choix des critères entraîne dans de nombreux cas le choix des procédés et que, par conséquent, la fixation de ces critères doit faire l'objet d'une étude attentive et préalable à tout programme.

Compte tenu de la brièveté de cette note, il ne sera pas possible de traiter le problème d'une part dans sa grande généralité, d'autre part, de donner le détail des calculs des modèles mathématiques auxquels on est conduit.

Nous allons donc exposer succinctement une série de considérations :

- sur la forme des courbes de demande
- sur les caractéristiques de l'offre
- sur les principes d'adaptation de l'offre et de la demande pour aboutir à un optimum économique, et sur les choix techniques qui en résultent.

II - SHAPE OF DEMAND CURVES

1°) Water demand

The general shape of this curve is as follows (fig. 1).

It comprises three zones :

- a domestic consumption zone characterised both by a limiting price, corresponding to the maximum which families are prepared to pay for water in an organised society, and by the non-flexible nature of the demand with respect to the price.
- a zone of industrial and agricultural consumption in which the quantity demanded is a function of the income derived from the use of the water. The price corresponds to the use value : the price one is prepared to pay to use the water.
- a zone of erratic consumption corresponding to uses which it is difficult to relate to a profitability criterion ; this only arises when the needs of zones 1 and 2 are satisfied.

It is probable that large desalination plants using nuclear power will have an output within the zone of industrial and agricultural requirements, i.e. in a zone of the demand curve as represented in fig. 1. The elementary needs will then probably be covered by conventional resources (wells, etc...). It is only in the case of rapid industrialisation of a region that the elementary needs of the staff of the plants could be satisfied by a nuclear or group of nuclear plants covering the whole of the curve in fig. 1.

We are pursuing a study of these curves in France and in the appendix we give an example for an area in Provence.

It is necessary to consider not only the annual demand curve but also the daily curves, the ordinate sum of which corresponds to the annual quantities (fig. 2). Such curves make it possible to define the annual load factor of these plants and the distribution of the demand in time. It will thus be necessary to take into consideration the marginal water production cost of an existing plant which, compared with the prices accepted by the consumers, will make it possible to define the load factor. Some matching of supply and demand is possible by means of regulating reservoirs.

In this way one will arrive at an operating optimum.

II - LA FORME DES COURBES DE DEMANDE

1°) La demande d'eau

La forme générale de cette courbe est la suivante (fig. 1).

Elle comprend trois zones :

- une zone de consommation domestique caractérisée à la fois par un prix limite correspondant au maximum que les familles puissent consentir à payer pour l'eau dans une société organisée, et par le caractère non élastique de la demande par rapport au prix.
- une zone de consommation industrielle et agricole pour laquelle la quantité demandée est fonction du revenu entraîné par l'usage de l'eau. Le prix correspond à la valeur d'usage : prix que l'on est disposé à payer pour utiliser l'eau.
- une zone de consommation erratique, correspondant à des usages qu'il est difficile de rattacher à un critère de rentabilité et qui n'intervient que lorsque les besoins des zones 1 et 2 sont satisfaits.

Il est vraisemblable que les grandes installations de dessalement faisant intervenir l'énergie nucléaire auront une production située dans la zone des besoins industriels et agricoles, c'est-à-dire, dans une zone de la courbe de demande, telle que représentée sur la figure 1. En effet, les besoins élémentaires seront alors probablement couverts par des ressources classiques (puits etc...). Ce n'est que dans le cas de l'industrialisation rapide d'une région que les besoins élémentaires du personnel des usines pourraient être satisfaits par une installation ou un groupe d'installations nucléaires couvrant l'ensemble de la courbe de la figure 1.

Nous poursuivons en France l'étude de ces courbes et nous donnons en annexe un exemple correspondant à une région de Provence.

Il convient de considérer, non seulement la courbe annuelle de demande, mais aussi les courbes journalières dont la somme correspond aux quantités annuelles (fig. 2). De telles courbes permettent de définir le facteur de charge annuel de ces installations et la distribution de la demande dans le temps. On sera conduit ainsi à prendre en considération le coût marginal de production de l'eau d'une installation existante qui, confrontée aux prix acceptés par les utilisateurs, permettra de définir le facteur de charge. Une certaine adaptation de l'offre et de la demande est possible grâce à des bassins de compensation.

On aboutira ainsi à un optimum d'exploitation.

Assuming that an operating optimum has been achieved by preliminary studies, the aim will be to match the size of the plant to the total demand in fig. 1. It is known that development costs and marginal receipts both play an essential part in the prior assessment of this size. We shall return to this point later.

We must not shut our eyes to the extreme difficulty of plotting these curves. It is nevertheless possible to try to determine requirements and prices from statistical data and surveys. It seems desirable in any case, for defining the size of the desalination plant, to resort to such methods, even if the data are only approximate.

2°) Electricity demand

This demand can be defined in a given area for daily or annual periods as in the case of the demand for water. The possible existence of a grid, however, and therefore of a demand far exceeding the local demand for water, introduces considerable differences.

In the rather improbable case of the creation of a zone of development from scratch where all the water and electricity requirements must be satisfied by one or more dual-purpose plants, the electricity demand curve would be plotted like the water demand, with the difference that electricity cannot be stored and that the plant will thus be less flexible. When a grid exists it will be necessary to produce electricity at a price lower than the tariff of the extension of the grid, if it is a question of an extension ; or to substitute the electricity generation of the dual-purpose plant for the former supplies from the grid, which seems difficult ; or, which is probably easier, to sell the excess electricity generated to the grid itself, by dismantling eventually the obsolete plants of this grid.

The latter will only purchase this electricity to the extent that it is sold at a price lower than its own generating cost. Since this generating cost varies at every hour of the day and the year, it is probable that such a contract would be fairly complicated and would involve various tariffs, the peak hours being paid at a higher price than the others. Moreover, it is probable that the grid will only agree to pay a price which decreases as a function of the quantity. In this way, if the quantities of water produced are matched, by means of storage reservoirs, to the most profitable hours for the sale of electricity, one will finally obtain an annual demand curve like that given in fig. 3.

If we take the daily demand curve (fig.4) it will be seen that if the dual-purpose plant exists it will be worthwhile operating it as long as its marginal cost of generating electricity is lower than the grid tariff by a given sum representing the profit of the operator of this grid. There will therefore be a certain comparison between marginal production costs and demand, which will make it possible to arrive at an optimum operating programme.

En supposant que, par des études préalables, on a réalisé un optimum d'exploitation, on s'efforcera d'adapter la taille de l'installation à la demande globale de la figure 1. On sait que les coûts de développement d'une part, les recettes marginales d'autre part, jouent un rôle essentiel dans la détermination prévisionnelle de cette taille. Nous reviendrons sur ce point.

Il ne faut pas se dissimuler l'extrême difficulté d'établissement de ces courbes. On peut néanmoins, par des constatations statistiques et des enquêtes, essayer de déterminer les besoins et les prix. Il paraît en tout cas souhaitable, pour définir la taille de l'installation de dessalement, de recourir à de tels éléments, même approximatifs.

2°) La demande d'électricité

Cette demande peut être définie, dans une région donnée pour des périodes journalières ou annuelles, comme dans le cas de la demande d'eau. Toutefois, l'existence éventuelle d'un réseau, donc d'une demande dépassant largement la demande localisée correspondant à l'eau, introduit des différences importantes.

Dans le cas, d'ailleurs improbable, de la création ex nihilo, d'une zone de développement où les totalités des besoins d'eau et d'électricité devraient être satisfaites par une ou des installations mixtes, la courbe de demande d'électricité serait tracée comme la demande d'eau avec cette différence que l'électricité n'est pas stockable et que l'installation aura ainsi moins de souplesse. Lorsqu'il existe un réseau, il conviendra de produire de l'électricité à un prix inférieur au tarif de l'extension du réseau, s'il s'agit d'extension ou bien, de substituer la production d'électricité de la centrale mixte à des fournitures anciennement effectuées par le réseau, ce qui paraît difficile, ou, ce qui est probablement plus facile, de revendre l'excédent d'électricité produite au réseau lui-même, en déclassant éventuellement les centrales vétustes de ce réseau.

Celui-ci n'achètera cette électricité que dans la mesure où elle est vendue à un prix inférieur à son propre coût de production. Ce coût de production variant à toute heure du jour et de l'année, il est vraisemblable qu'un tel contrat serait assez compliqué et ferait état des divers tarifs, les heures de pointe étant payées à un prix plus élevé que les autres ? De plus, il est vraisemblable que le réseau n'acceptera de payer qu'un prix dégressif en fonction de la quantité. De sorte que, si on adapte au mieux, grâce à des réservoirs de stockage, les quantités d'eau produite aux heures les plus rentables pour la vente d'électricité, on obtiendra finalement une courbe de demande annuelle, telle que portée sur la figure 3.

Si on regarde la courbe journalière de demande (fig. 4), on admettra que, si l'installation mixte existe, on aura intérêt à la faire fonctionner tant que son coût marginal de production d'électricité est inférieur au tarif du réseau d'une certaine somme représentant le bénéfice de l'exploitant de ce réseau. Il y aura donc une certaine confrontation entre les coûts marginaux de production et la demande qui permettra d'aboutir à un programme d'exploitation optimale.

It can therefore be said :

1/ that if the dual-purpose plant exists, it is the comparison of the marginal production costs of water and electricity with the daily demand curve which will define the optimum operating conditions ;

2/ that the size of this plant will follow from a comparison of the development costs (i.e. the long-term marginal costs) with the total annual demand curves ;

3/ that it is essential to take into account a development of the demand in time (dotted curves in figs. 1 and 3) . This problem is not easy to solve, but a simplified and cautious approach, although incomplete, makes some significant results possible.

We recently used this method for the design of a non-nuclear plant of 6,000 m³ of water per day in a country in an arid zone, with difficulty but apparently with advantage.

3°) Supply characteristics

It is obviously unrealistic to consider that the desalination plant is such that the quantities of water and electricity are inexorably linked in a constant proportion (fig. 5, case 3).

Diagrams 1, 2, 4 and 5 in fig. 5 give in an extremely simplified form all the possible combinations as a function of the variation of the ratio

$$\frac{\text{Quantity of water produced}}{\text{Quantity of electricity}} \quad \text{for a given technique.}$$

Moreover, the steam characteristics of the boiler (temperature, pressure) and the steam quantities introduce variations which must be taken into account when distillation processes are being considered.

Finally, other processes than distillation may be used which considerably modify the production structures (electrodialyses etc...).

On peut donc dire :

1/ que si l'installation mixte existe, c'est la comparaison des coûts marginaux de production d'eau et d'électricité avec la courbe de demande journalière qui définira les conditions d'exploitation optimale

2/ que la taille de cette installation résultera de la confrontation des coûts de développement (c'est-à-dire, des coûts marginaux à long terme) avec les courbes de demande globale annuelle

3/ qu'il est indispensable de tenir compte d'un développement de la demande dans le temps (courbes pointillées des figures 1 et 3)

Le problème ainsi posé n'est pas facile à résoudre. Mais une approche simplifiée et prudente, quoiqu'incomplète, permet quelques résultats significatifs.

Nous avons récemment utilisé cette méthode pour le dimensionnement d'une installation non nucléaire de 6 000 m³/j d'eau dans un pays en zone aride avec difficulté, mais, semble-t-il, avec profit.

3°) Caractéristiques de l'offre

Il est évidemment peu réaliste de considérer que l'installation de dessalement est telle que les quantités d'eau et d'électricité sont inexorablement liées en proportion constante (fig. 5, cas 3).

Les schémas 1, 2, 3, 4 et 5 de la figure donnent, sous une forme extrêmement simplifiée, toutes les possibilités de combinaisons en fonction de la variation du rapport :

$$\frac{\text{Quantité d'eau produite}}{\text{Quantité d'électricité}} \quad \text{pour une technique donnée}$$

De plus, les caractéristiques de vapeur de la chaudière (température-pression) et les quantités de vapeur introduisent des variations dont il faut tenir compte lorsqu'il s'agit de procédés de distillation.

Enfin, d'autres procédés que la distillation peuvent être utilisés qui modifient considérablement les structures de production (électrodialyse etc...).

One can try to illustrate the dual offer of electricity and desalted water, as shown on fig. 6:

in a three-dimensional space, a surface area is considered, giving expenditures versus the quantities of water and electricity produced. This surface is peculiar to a given technique of energy generation and desalination. Each one of its points corresponds within this technique and the production considered being taken as fixed to an optimum water processing and electricity generating cost.

If this surface is crossed by planes which, meeting along the expenditure axis, isolate systems for which the

$$\frac{\text{Water processing}}{\text{Electricity generation}}$$

ratio is constant, one obtains a family of expenditure curves corresponding to the various graphs on fig. 6. Inversely, this surface can in effect be obtained by determining each expenditure curve which corresponds to a constant

$$\frac{\text{Water processing}}{\text{Electricity generation}}$$

ratio.

Other desalination or energy generation techniques would give other surfaces.

A confrontation of offer and demand will consist in comparing a family of "cost" surfaces, corresponding to the various techniques and the price curves of water and electricity demand, with the help of one of the selection criteria listed above.

On peut essayer de figurer l'offre double d'électricité et d'eau dessalée, comme il est indiqué sur la figure 6 :

on considère une surface dans un espace à trois dimensions donnant les dépenses en fonction des quantités d'eau et d'électricité. Cette surface est propre à une technique donnée pour la production d'énergie et le dessalement. Chacun de ses points correspond, dans le cadre de cette technique, à un coût de production optimal pour la production d'eau et d'électricité considérée, supposée fixée.

Si on coupe cette surface par des plans passant par l'axe des coûts et isolant ainsi des systèmes pour lesquels le rapport :

$$\frac{\text{Production d'eau}}{\text{Production d'électricité}}$$

est constant, on obtient des séries de courbes de dépenses correspondant aux divers schémas de la figure 6. Réciproquement, on peut pratiquement obtenir cette surface en déterminant chacune des courbes de dépenses correspondant à un rapport :

$$\frac{\text{eau}}{\text{électricité}}$$

constant.

Pour d'autres techniques de dessalement ou de production d'énergie, on obtiendrait d'autres surfaces.

La confrontation de l'offre et de la demande consistera à comparer la famille des surfaces "des coûts" correspondant aux diverses techniques et les courbes des prix de la demande d'eau et d'électricité à l'aide d'un des critères de choix énoncés plus haut.

III - ECONOMIC SELECTION OF SIZES AND PROCESSES

The comparison of surfaces and curves, and the use of the various criteria raise methodological problems which it is perfectly possible to solve but for which it would be too tedious to give the mathematics here.

In order to try and pick out some qualitative yet significant results, we shall tackle the problem through successive approaches.

Each of which will contain no more than a limited number of parameters.

First approach

The results were taken from : "Economic aspects of electricity and industrial heat generating nuclear plants" - Geneva 1964 - 28/P/46 .

The water and electricity demand curves considered are given on figs. 7 and 8. Water demand is therefore inelastic, i.e. constant whatever the price, and electricity demand is elastic (1) but shows discontinuity between winter and summer hours.

To meet the demand, we shall use only one desalting process, for example a distillation process having a well defined desalting plant inlet steam temperature and several energy generation systems, one conventional and two nuclear ones, with differing cost structures (figs 9 and 10).

N_1 nuclear generation implies higher capital costs and lower fuel costs than N_2 (2).

Either a back-pressure turbine, or a back-pressure turbine followed by a condensation turbine, can be used for electricity generation.

(1) I apologize for using an economist's vocabulary. But engineers are well acquainted with such terms as elasticity, marginal cost, marginal receipts

(2) Steam generation temperatures are different for the conventional boiler N_1 and N_2 .

III - CHOIX ECONOMIQUE DES TAILLES ET DES PROCEDES

La comparaison des surfaces et des courbes et l'utilisation des divers critères posent des problèmes méthodologiques qu'il est parfaitement possible de résoudre, mais dont il serait fastidieux de donner ici les développements mathématiques.

Pour essayer de dégager quelques résultats qualitatifs mais significatifs, nous allons aborder le problème par des approches successives.

Chacune de ces approches ne comportera qu'un nombre restreint de paramètres.

Première approche

(Les résultats sont tirés de la communication "Aspects économiques des réacteurs produisant de l'électricité et de la chaleur industrielle" Genève 1964 - 28/P/46).

On considère les courbes de demande d'eau et d'électricité conformes aux figures 7 et 8 qui signifient que la demande d'eau est inélastique, c'est-à-dire, constante quel que soit le prix, que la demande d'électricité est élastique (1) mais comprend une discontinuité selon qu'il s'agit d'heures d'hiver ou d'heures d'été.

Pour satisfaire cette demande, nous allons utiliser un seul système de dessalement (par exemple, un système de distillation dont la température de la vapeur d'entrée dans l'appareil de dessalement est bien définie) mais plusieurs systèmes de production d'énergie, l'un classique, les deux autres nucléaires, de structure de coûts différente (fig. 9 et 10).

La production par le nucléaire N_1 implique des coûts d'investissement plus forts, et des coûts de combustible plus faibles que le nucléaire N_2 (2).

On peut utiliser, soit une turbine à contre-pression, soit une turbine à contre-pression suivie d'une turbine à condensation pour la production d'électricité.

(1) Je m'excuse d'utiliser une terminologie d'économiste, mais la plupart de ces termes tels que : élasticité, coût marginal, recettes marginales sont familiers aux ingénieurs.

(2) Les températures de production de vapeur des chaudières classiques N_1 et N_2 sont différentes.

If we go back to our three-dimensional illustration of fig. 6 as the quantity of water is predetermined, the cost diagram is now bi-dimensional (figs. 11 and 12).

Some remarks can now be made :

- a) for each generation system, there is a different minimum cost, which implies a different quantity of electricity generated ;
- b) one of the costs is lower than the others : that of the N_1 system which has particularly low fuel costs. This confirms the often met conclusion that, beyond a certain water production, the most suitable reactor systems are those with low fuel cost/kWh, heavy water, natural uranium reactors for example (this will be found in such papers as TNS D 102 of the Nuclear Science Department (Israel)).
- c) when only electricity is produced and heat generation for desalting is nihil, the difference between nuclear and classical costs is negligible (1). On the other hand, at the optimum dual production level, the gap in favour of nuclear power is significant. The use of nuclear power in a dual water and electricity plant is more favorable for two reasons :
 - the increase in size entailed by a dual rather than a single-purpose plant ;
 - the increase in load factor due to the fact that nuclear marginal costs are lower than conventional marginal costs during the summer hours.

This first approach aimed mainly at pointing out the remarks (b) and (c) and not at introducing the cost and price confrontation mechanism which we will now turn to.

Suffice it to say that, amongst the economic criteria listed above the one implicitly used here was the maximum welfare criterion.

(1) see on fig. 12 the gap for production only.

Reprenant notre figuration à trois dimensions de la figure 6, comme la quantité d'eau est fixée à l'avance, le schéma des coûts se réduit à deux dimensions (fig. 11 et 12).

On peut faire ainsi quelques remarques :

- a) il existe un coût minimal pour chaque système de production d'énergie, et ce minimum ne correspond pas à la même production d'électricité ;
- b) il existe un coût plus faible que les autres correspondant au nucléaire N₁ caractérisé par de très faibles coûts de combustible.
Ce dernier résultat reproduit le résultat bien souvent acquis selon lequel, à partir d'une certaine production d'eau, ce sont les réacteurs à faible coût de combustible par kWh, par exemple à eau lourde et uranium naturel, qui conviennent le mieux.
(on retrouvera ce résultat dans des documents tels que TNS D 102 du Department of Nuclear Science d'Israël).
- c) pour la seule production d'électricité et une production nulle de chaleur destinée au dessalement, on constate une différence de coût : nucléaire/classique négligeable alors qu'à l'optimum de production mixte, un avantage certain est acquis au nucléaire (1). L'emploi du nucléaire dans une installation mixte eau-électricité, est plus avantageux que pour la production de la seule électricité pour deux raisons :
 - le bénéfice est dû à l'accroissement des tailles exigé par l'installation mixte par rapport à l'installation simple ;
 - le bénéfice est dû à l'accroissement du facteur de charge dû à la possibilité pour le nucléaire de fournir le courant à un coût marginal inférieur à celui des centrales classiques durant l'été.

Cette première approche était surtout destinée à mettre en évidence les remarques (b) et (c), et non d'introduire le mécanisme de confrontation des coûts et des prix que l'on va aborder maintenant.

Disons seulement que parmi les critères économiques évoqués plus haut, c'est le critère d'optimum collectif qui a été implicitement utilisé.

(1) voir figure 12 les écarts pour la production d'électricité seule.

Second approach

In this approach we shall try and point out the influence of the choice criteria on the sizes, taking into account the soft water supply only and excluding electricity supply.

A - Let us assume first that we have one single group of techniques at our disposal : electricity generation-water processing ; the water demand curve (price versus quantity) and the curve of offer, that is to say of mean costs, will be such as indicated on figure 13. We notice that for small water productions, the cost is much above the price the consumers are ready to pay in respect of other possible water resources ; it will be so too, for high water productions, in which case those consuming this water, agricultural consumers for example, cannot afford to pay too high a price.

1°) Private monopoly criteria

We know that in this case, the monopolist's maximum benefit is obtained when his marginal cost is equal to his marginal receipt (1) on condition that the curve of marginal cost meets the curve of marginal receipt from below. Indeed, if we consider the fig. 13, the points A and B both represent the equality of marginal cost and marginal receipt, but only the point B for which the curve of marginal cost is below, corresponds to a maximum benefit for the private monopolist. He will thus be induced to produce a quantity Q_1 of desalted water.

2°) Public monopoly criteria

In this case the choice of the plant size will no longer allow the community owning the plant to maximise the profit but to maximise community welfare.

We may then consider two different points of view : one may try either to introduce the economic event of this water production into the whole economic background of the community, that is to say of the nation, or simply maximise the overall satisfaction of processed water consumers.

(1) This may easily be demonstrated : the annual profit B of the monopolist is maximum when $\frac{dB}{dQ} = 0$; B being equal to $PQ - D$, where P and Q represent the prices and the quantities of the demand curve and D the monopolist's maximum annual expenditure, we have : $\frac{dB}{dQ} = 0 = P + Q \frac{dP}{dQ} - \frac{dD}{dQ}$. Now, $P + Q \frac{dP}{dQ}$ represents the marginal receipt.

Deuxième approche

Nous essayons de mettre en évidence l'influence des critères de choix sur les tailles en nous basant, dans cette approche, sur la seule fourniture de l'eau salée à l'exclusion de l'électricité.

A - Supposons d'abord que nous ne disposions que d'un seul ensemble de techniques : production d'énergie-dessalement, et que la courbe : prix/quantité, de demande d'eau et la courbe d'offre, c'est-à-dire de coûts moyens, soient telles qu'indiquées sur la figure 13. On notera que pour de faibles productions d'eau, le coût est très supérieur au prix que les utilisateurs sont disposés à payer, compte tenu des autres ressources en eau utilisables, et qu'il en est de même pour les fortes productions d'eau, car alors, les usagers, par exemple agricoles, de cette eau, ne peuvent s'accommoder d'un prix trop haut.

1°) Critère du monopole privé

Dans ce cas, nous savons que le maximum de bénéfice du monopoleur s'obtient lorsque son coût marginal égale sa recette marginale (1) à condition que ce coût marginal rejoigne la recette marginale "par le dessous". En effet, nous référant à la figure 13, les points A et B correspondent bien à l'égalité du coût marginal et de la recette marginale, mais seul le point B pour lequel la courbe de coût marginal est au-dessous correspond à un maximum de bénéfice pour le monopoleur privé. Celui-ci sera ainsi amené à produire une quantité Q_1 d'eau dessalée.

2°) Critère du monopole public

Dans ce cas, le choix de la taille de l'installation doit permettre à la collectivité propriétaire de l'installation, non plus, comme dans le cas du monopole privé de maximiser les bénéfices, mais de maximiser l'intérêt de la collectivité.

On peut alors adopter deux points de vue relativement différents : on peut, soit chercher à introduire le fait économique constitué par cette production d'eau dans l'ensemble de l'économie de la nation, soit chercher simplement à maximiser la satisfaction globale des utilisateurs de l'eau produite.

(1) Ceci se démontre aisément : le bénéfice annuel du monopoleur : $B = PQ - D$ P et Q étant les prix et quantité de la courbe de demande - D ses dépenses annuelles maximales - exige : $\frac{dB}{dQ} = 0 = P + Q \frac{dP}{dQ} - \frac{dD}{dQ} = 0$. Or, $P + Q \frac{dP}{dQ}$ représente la recette marginale, et $\frac{dD}{dQ}$ le coût marginal.

The first point of view leads, under the "economic theory" (1) to the practice of sale at marginal cost. But, as indicated on fig. 13, this marginal cost of increase in size is usually decreasing and situated below the mean cost (that is why for example the average kWh cost decreases in nuclear generating plants when their capacity grows). Therefore the application of such a tariffication would entail a constant loss for the public monopoly. If one wants to subject it to financial balance, the problem cannot be solved without additional parameters allowing the variation of the mean costs curve, that is to say the variation of production techniques. Anyhow this problem is intricate and awkward as it must necessarily be related to the whole set of economic activities of the country. One must indeed be sure that the capital invested in this plant and paid out of the nation's fund would not find a better utilization somewhere else. That is why, one may prefer to simply maximise the function of the desalted water consumer's satisfaction. To stick to a thorough but simple reasoning, it will be best to resort to the "theory of surplus" (2).

Let us draw the conventional price/quantity demand curve for a given asset (fig. 14). Each of these prices corresponds to the marginal satisfaction of the individuals who are indeed ready to pay this price to obtain it (3).

For example, if the individuals disposing of the quantity q_1 of water, want to obtain an additional unit $\Delta q = 1$, they will get from this additional unit of water Δq a satisfaction increase in accordance with the price P they are ready to pay for it.

This reasoning being valuable for any point on the price/quantity curve one may say that the sum of all the unit quantities between q and q_1 corresponds to the sum of satisfactions measured by the surface area comprised between the price/quantity curve and the x-axis

(1) "La vente au coût marginal ", M. BOITEUX - Revue Française de l'Energie Décembre 1956

(2) The generalised Theory of Consumer's surplus - Review of Economic Study Vol 13 n° 34 1945-46 by HICK J.R.

(3) Paul SAMUELSON - Economics - An introductory analysis - 2 XVI

Le premier cas conduit, en vertu de la "théorie économique" (1) à pratiquer la vente au coût marginal. Mais il suffit de voir les courbes de la figure 13 pour s'apercevoir que ce coût marginal d'accroissement des tailles est en général décroissant et situé au-dessous du coût moyen (c'est pourquoi par exemple le coût moyen du kW décroît dans les centrales nucléaires lorsque leur puissance croît). Si on applique donc une telle tarification le monopole public sera en constant déficit. Si on désire l'assujétir à l'équilibre financier, le problème devient insoluble si on ne dispose pas de paramètres supplémentaires, c'est-à-dire, si on ne peut faire varier la courbe des coûts moyens, donc faire varier les techniques de production. De toute façon, ce problème est compliqué et délicat car il se réfère nécessairement à l'ensemble des activités économiques du pays. Il faut en effet s'assurer que les investissements affectés à cette installation et qui sont prélevés sur le capital de la nation, ne seraient pas mieux utilisés ailleurs. C'est pourquoi, on peut préférer maximiser simplement la fonction de satisfaction des consommateurs de l'eau dessalée. Pour faire un raisonnement rigoureux mais simple, le mieux est de se référer à la théorie dite des "surplus" (2). Soit, en effet une courbe de demande classique prix/quantité, relative à un bien (fig. 14).

Chacun de ces prix correspond à la satisfaction marginale des individus, qui sont disposés en effet, en fonction de cette satisfaction marginale, à payer ce prix (3).

Par exemple, si les individus disposent de la quantité q_1 d'eau et qu'ils veulent obtenir une unité supplémentaire $\Delta q = 1$, ils retireront de cette quantité Δq un accroissement de satisfaction correspondant au prix P qu'ils sont disposés à payer pour l'obtenir.

Ce raisonnement étant valable pour chaque point de la courbe : prix/quantité, on peut dire que la somme de toutes les quantités unitaires comprises entre q et q_1 , correspond à une somme de satisfaction mesurée par la surface comprise entre la courbe Prix et l'axe des abscisses.

(1) Voir : "La vente au coût marginal" de Marcel BOITEUX (Revue Française de l'Energie) - Décembre 1956.

(2) The generalized Theory of consumer's surplus - Review of Economic Study Volume 13 - n° 34 - 1945-1946, by HICKS J.R.

(3) Voir pour la théorie générale de la "Satisfaction" : P. SAMUELSON "Economics - An introductory Analysis" (2 - XVI).

The overall increase of the community satisfaction resulting from the increase of quantity between q_2 and q_1 is measured by the surface area comprised between the points q_1 and q_2 . However for each level of production there is a corresponding cost level. If we draw the marginal cost curve (fig. 15), the surface area comprised between the x-axis and this marginal cost curve corresponds to the total expenditure. This total expenditure represents for the consumer the deprivation of a certain amount of other goods, that is to say a negative satisfaction we shall call non-satisfaction. The difference between the price curve area (satisfaction of the community) and the cost area (non satisfaction of the community) is the surplus of net satisfaction of the community. If we wish to maximise this net satisfaction, it is necessary to adopt the production Q_2 in the graph of fig.15.

Coming back to fig. 13, we see that the maximum surpluses are obtained at point C where the marginal costs curve meets the water demand curve. In the case of the fig. 13, the quantity Q_2 is thus determined and the producing plant is showing a loss. If one sticks to the production technique represented by the curve C_1 , it is not possible indeed to meet at once the satisfaction optimum and the budgetary balance, which will make subsidies necessary.

On the opposite, the choice of a new technique can probably help realizing the two optima. But this new balance may lead to a production $Q'_2 < Q_2$. In this case too, it will be necessary to make a choice between the two techniques, the first of which offering the advantage of meeting higher water demands and the drawback of a budgetary loss.

One may however introduce in order to settle this uncertainty, one of the two criteria mentioned above ; one can either choose the plant requiring the lowest investment when the financing possibilities are limited, or choose the plant leading to highest profitability. We shall come back later to the use of both these criteria.

L'accroissement global de satisfaction de la communauté, lorsqu'on met à sa disposition une quantité : $q_2 > q_1$, est mesurée par la portion de surface comprise entre q_1 et q_2 . Mais à chaque niveau de production correspond un niveau de coût. Si nous traçons la courbe des coûts marginaux (fig. 15), la surface comprise entre l'axe horizontal et cette courbe des coûts marginaux, correspond au total des sommes dépensées, ce total des sommes dépensées correspond, pour le consommateur à la privation d'une certaine quantité d'autres biens, c'est donc une satisfaction négative qu'on appellera "insatisfaction". La différence entre l'aire correspondant à la courbe des prix : satisfaction de la collectivité et cette aire des coûts : insatisfaction de la collectivité mesure le "surplus" de satisfaction nette de cette collectivité. Si on veut maximiser cette satisfaction nette, on est conduit à adopter la production Q_2 de la figure 15.

Revenant à la figure 13 nous constatons que ces surplus maximaux sont atteints au point C où la courbe des coûts marginaux coupe la courbe de demande d'eau.

Dans le cas de la figure 13, la quantité Q_2 en résulte et détermine un déficit de l'installation. Si on s'attache à la seule technique de production représentée par la courbe C_1 , il n'est en effet pas possible de réaliser à la fois l'optimum de satisfaction et l'équilibre budgétaire, ceci entraînera donc une subvention.

Par contre, le choix d'une nouvelle technique peut sans doute permettre de réaliser les deux optima. Mais ce nouvel équilibre peut aboutir à une production $Q'_2 < Q_1$. Dans ce cas-là, on aura à choisir entre les deux techniques, la première offrant l'avantage de répondre à de plus grands besoins en eau et l'inconvénient d'un déficit budgétaire.

On peut cependant être amené à introduire, pour lever cette incertitude, l'un des deux autres critères évoqués plus haut : soit choisir l'installation à coût d'investissement le moins élevé, lorsqu'il y a des limitations dans le financement, soit choisir celle qui aboutit à la rentabilité la plus élevée. Nous reprendrons plus loin l'utilisation de ces deux critères.

B - Let us now assume that we are still to produce water and no electricity but with several techniques available, represented by the offer curves of figure 16. The curve C_1 corresponds to a distillation process, whereas the curve C_2 corresponds for example to a vapour compression process. Both techniques are characterized by a curve of costs, decreasing with the size, down to a point (a and b) where size increase no longer entails a benefit and at which further extension of the installation is realized by reproduction of optimal size plants. We shall see that technique C_1 involves lower capital investments than technique C_2 and therefore in view of certain choice criteria, curve C_1 will be preferred, as we are going to show. Many other techniques may exist between these two curves and even outside. We shall limit ourselves to C_1 and C_2 , so as to simplify the study.

If we reason in the same way as in (A) above, we get the following results (see fig. 19).

1°) In the case of private monopoly

The equation of marginal costs and receipts gives :

C_1 technique	Q_1 quantity
C_2 technique	Q_2 quantity

2°) In the case of the maximization of surpluses

The equation of marginal costs and prices gives the quantities Q'_1 and Q'_2 (points A and B).

In the case of private monopoly, technique number 1 (point C) is preferable to technique number 2 (point A), absolute benefit being higher then.

In the case of public monopoly, both techniques lead to budgetary balance at least and technique number 1 (D) even entails a benefit.

If a limitation of the investments is introduced (fig. 17) this preference order does not change in the cases taken into account ; but if the criterion of maximum profitability, that is to say the ratio of benefit versus investment, will interfere (fig.18) and be added to the others, technique number 2 may present higher interest for small production levels, Q_1 for example.

In a general way, and whether the plant operator is public or private it looks as if in most cases the best method is the one which at equal investment leads to maximum water production without disturbing the financial balance.

B - Nous allons maintenant supposer qu'il s'agit toujours de produire de l'eau et non de l'électricité, mais que nous disposons pour cela de plusieurs techniques, que nous matérialiserons par les courbes d'offres de la figure 16. La courbe C_1 correspond à un procédé de distillation. La courbe C_2 par exemple, à un procédé de thermocompression. Ces deux techniques sont caractérisées par une courbe de coûts décroissant avec la taille jusqu'à un point (a et b) où l'accroissement de taille n'apporte plus aucun bénéfice, point où l'installation se reproduit par multiplication d'installations de tailles optimales. Nous verrons que la technique C_1 fait intervenir des investissements inférieurs à la technique C_2 , c'est pourquoi, pour certains critères de choix, la courbe C_1 est préférable comme on va le montrer. Il peut exister bien d'autres techniques entre ces deux courbes et même en dehors. Nous raisonnons sur C_1 et C_2 seulement pour simplifier l'exposé.

Si nous refaisons les mêmes raisonnements qu'en (A) ci-dessus, nous obtenons les résultats suivants (voir fig. 19) :

1°) Cas du monopole privé

L'égalité des coûts marginaux et des recettes marginales donne :

pour la technique C_1	une quantité Q_1
pour la technique C_2	une quantité Q_2

2°) Cas de la maximisation des surplus

On obtient par égalité des coûts marginaux et des prix, les quantités Q'_1 et Q'_2 (points B et D).

Dans le cas du monopole privé, la technique 1 (point C) est préférable à l'autre (A), le bénéfice absolu est plus fort.

Dans le cas du monopole public, on notera que les deux techniques aboutissent au moins à l'équilibre budgétaire, et que la technique 1 (D) fait apparaître un bénéfice.

Si on fait intervenir une limitation des investissements (fig. 17) cet ordre de préférence ne change pas, pour les cas envisagés, mais si le critère de rentabilité maximal intervient, c'est-à-dire, le rapport du bénéfice à l'investissement (fig. 18), et se superpose aux autres, on s'aperçoit qu'on peut avoir intérêt à choisir la technique n° 2 pour les faibles productions, c'est-à-dire Q_1 .

D'une manière générale et quel que soit le mode de gestion public ou privé, il semble que l'on ait souvent intérêt à choisir le procédé qui, à investissement égal, conduise au maximum de production d'eau dans le cadre de l'équilibre financier.

C - One can observe from these few comments that the selection of processes and sizes is a close function of :

- the shape of the water demand curve
- the economic criterion adopted

This makes it therefore absolutely essential to carry out market surveys together with a sufficiently subtle economic analysis, before deciding on the choice of a desalting process.

Third approach

The problem is now to produce at once water and electricity, both the demand curves as defined above, and the family of surface areas of dual generation costs for all possible techniques, being known.

We shall limit ourselves to giving the general principles, what has been said above in the two first approaches making it possible to complete the argument.

1°) In the case of a private monopoly

If the production function is : $D = f(K_1, K_2, T)$, K_1 and K_2 being the quantities of water and electricity produced and T being a parameter corresponding to each cost area, the equation of marginal costs and receipts entails :

$$\frac{\partial D}{\partial K_1} = r \text{ water} \qquad \frac{\partial D}{\partial K_2} = r \text{ electricity} \qquad (1)$$

r water and r electricity being the marginal receipts issued from the demand curves for those two products.

Relations (1) can be obtained for each cost area ; for each technique one gets an optimum point corresponding to a maximum profit. One then has only to compare each optimum profit for each area and to choose the highest one. These results can be fairly easily obtained graphically with the help of such diagrams as on fig. 20.

C - On peut donc conclure de ces quelques considérations que le choix des procédés et celui des tailles est étroitement fonction :

- de la forme de la courbe de demande d'eau
- du critère économique choisi

Ceci rend donc indispensable des études de marché, accompagnées d'une analyse économique assez fine, préalablement à toute décision du choix des techniques de dessalement.

Troisième approche

Il s'agit maintenant de produire à la fois de l'eau et de l'électricité connaissant les courbes de demande telles que définies précédemment et la famille de surfaces des coûts de génération simultanée des deux produits, pour toutes les techniques envisageables.

On se contentera d'exposer les principes généraux, ce qui vient d'être dit dans les deux premières approches permettant de compléter le raisonnement.

1°) Cas d'un monopole privé

Si la fonction de production est $D = f(K_1, K_2, T)$, K_1 et K_2 étant les quantités d'eau et d'électricité produites et T , un paramètre correspondant à chaque surface de coût, donc à chaque technique, l'égalité des coûts marginaux et des recettes marginales conduit aux relations :

$$\frac{\partial D}{\partial K_1} = r_{\text{eau}} \quad \frac{\partial D}{\partial K_2} = r_{\text{électricité}} \quad (1)$$

r_{eau} et $r_{\text{électricité}}$ étant les recettes marginales issues des courbes de demande de ces deux produits.

On peut obtenir les relations (1) pour chaque surface de coût ; pour chaque technique, il existe un point optimal correspondant à un bénéfice. Il suffit ensuite de comparer entre chaque bénéfice optimal de chaque surface, et choisir le plus élevé. On peut obtenir assez aisément ces résultats graphiquement à l'aide de schémas tels que celui de la figure 20.

2*) In the case of a public monopoly

Surpluses must be maximized and the plant budget balanced.
Hence the laying down of the two following conditions :

$$\text{Surplus} = \int_0^k p_1(K_1) dK_1 + p_2(K_2) dK_2 - D(K_1, K_2, T) \quad (2)$$

$$p_1(K_1) K_1 + p_2(K_2) K_2 - D(K_1, K_2, T) \gg 0 \quad (3)$$

p_1 and p_2 being the prices of the two products corresponding to the quantities K_1 and K_2 on the demand curves.

One then demonstrates that, to meet this dual condition, the following equations must be solved :

$$\frac{p_1 - C_1}{p_1 - C_1 + K_1 \frac{\partial p_1}{\partial K_1}} = \frac{p_2 - C_2}{p_2 - C_2 + K_2 \frac{\partial p_2}{\partial K_2}}$$

C_1 and C_2 being the marginal water and electricity costs

C_1 and C_2 are obtained as stated in the above paragraph

These equations must be added to those corresponding to the water and electricity demand :

$$f(p_1, K_1) = 0$$

$$g(p_2, K_2) = 0$$

One can now define the optimum K_1 and K_2 quantities.

Introducing the other criteria (capital investment limitations, profitability) would present no problem.

General comments on these calculations

- 1 - The given demand curves are related to a given time period, the year for instance. In the calculation, one should consider the development of these curves with time.
- 2 - We have discussed techniques giving rise to a cost curve shape as a function of quantities. Obviously, as implied in our "first approach" each desalting process must be defined as the best available energy generation system, given the quantities to be produced.

2°) Cas d'un monopole public

Il faut maximiser les "surplus" et astreindre l'installation à l'équilibre budgétaire.

D'où les deux conditions que l'on s'impose :

$$\text{Surplus} = \int_0^k p_1(K_1) dK_1 + p_2(K_2) dK_2 - D(K_1, K_2, T) \quad (2)$$

$$p_1(K_1) K_1 + p_2(K_2) K_2 - D(K_1, K_2, T) \gg 0 \quad (3)$$

p_1 et p_2 étant les prix des deux produits correspondant aux quantités K_1 et K_2 des courbes de demande.

On démontre alors que pour satisfaire cette double condition, il faut résoudre les équations suivantes :

$$\frac{p_1 - C_1}{p_1 - C_1 + K_1 \frac{\partial p_1}{\partial K_1}} = \frac{p_2 - C_2}{p_2 - C_2 + K_2 \frac{\partial p_2}{\partial K_2}}$$

C_1 et C_2 étant les coûts marginaux d'eau et d'électricité

C_1 et C_2 s'obtiennent comme il est dit au paragraphe précédent (fig. 20).

Ces équations doivent être jointes à celles qui correspondent aux courbes de demande d'eau et d'électricité :

$$f(p_1 K_1) = 0$$

$$g(p_2 K_2) = 0$$

On peut donc définir les quantités K_1 et K_2 optimales.

L'introduction des autres critères (investissements limites - rentabilité) s'effectuerait sans difficulté.

Remarques générales sur ces divers calculs :

- 1 - Les courbes de demande données sont relatives à une période donnée, par exemple : l'année. Il convient de tenir compte dans les calculs d'une évolution de ces courbes dans le temps.
- 2 - On a parlé de techniques donnant lieu à une forme de courbe de coûts appropriée en fonction des quantités, mais il est bien évident, comme on l'a montré implicitement dans notre "première approche" que chaque technique de dessalement doit être définie comme la technique de production d'énergie la plus appropriée compte tenu des quantités à produire.

IV - CONCLUSIONS

We have felt it important to replace the problem of the selection of desalting techniques and plant sizes within an accurate economic methodology. As has been seen, its use gives us the tariffification of the two related products, water and electricity.

During the presentation of this methodology we were able to see how much the choices depended on the economic criteria adopted. According to the private or public character of the operator one can for instance, be led to adopt the flash distillation or the vapour compression process, this choice depending on economic circumstances.

We have thus tried to show the necessity of carrying out water and electricity market surveys before any economic analysis leading to a decision. These surveys, however brief, provide valuable references if one wishes to make unbiased and rational choices.

IV - CONCLUSIONS

Il nous a paru important de placer le problème du choix des techniques de dessalement et des dimensions des installations dans le cadre d'une méthodologie économique précise. Comme on l'a vu, on obtient en l'utilisant, les principes de tarification des deux produits liés, eau et électricité.

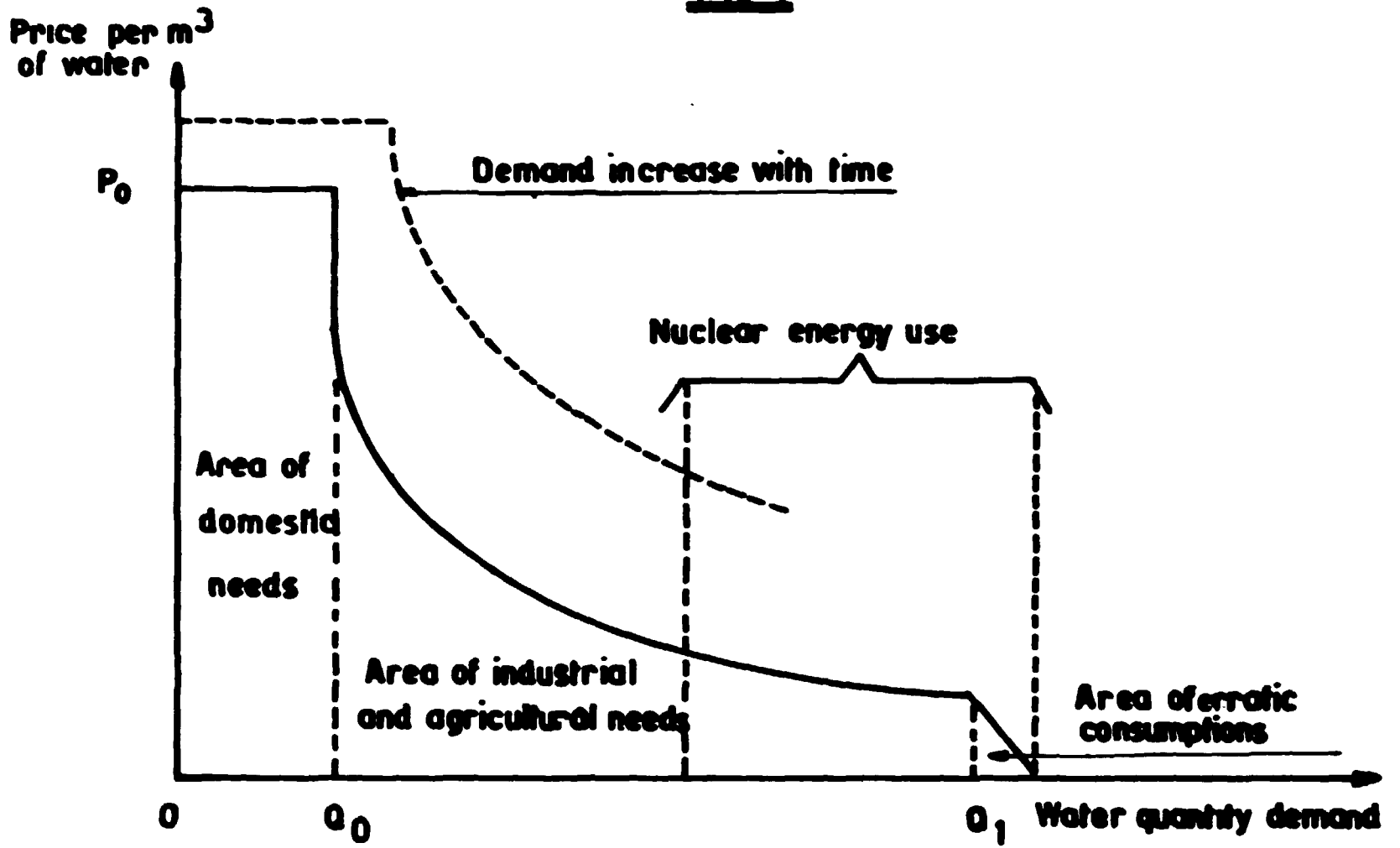
Au cours de l'exposé de cette méthodologie, nous avons pu voir à quel point les choix pouvaient varier en fonction des critères économiques adoptés. Selon que le gestionnaire est public ou privé, on peut être amené, par exemple, à choisir les techniques de la distillation flash ou de la thermocompression, ce choix variant selon les circonstances économiques.

Nous avons ainsi essayé de mettre en évidence la nécessité de procéder à des études de marché de l'eau et de l'électricité avant toute analyse économique conduisant à une décision. Car ces études préliminaires, aussi sommaires qu'elles puissent se présenter, constituent cependant des références précieuses dans la mesure où l'on veut effectuer des choix objectifs et rationnels.

Manuscrit reçu le 21 juillet 1966

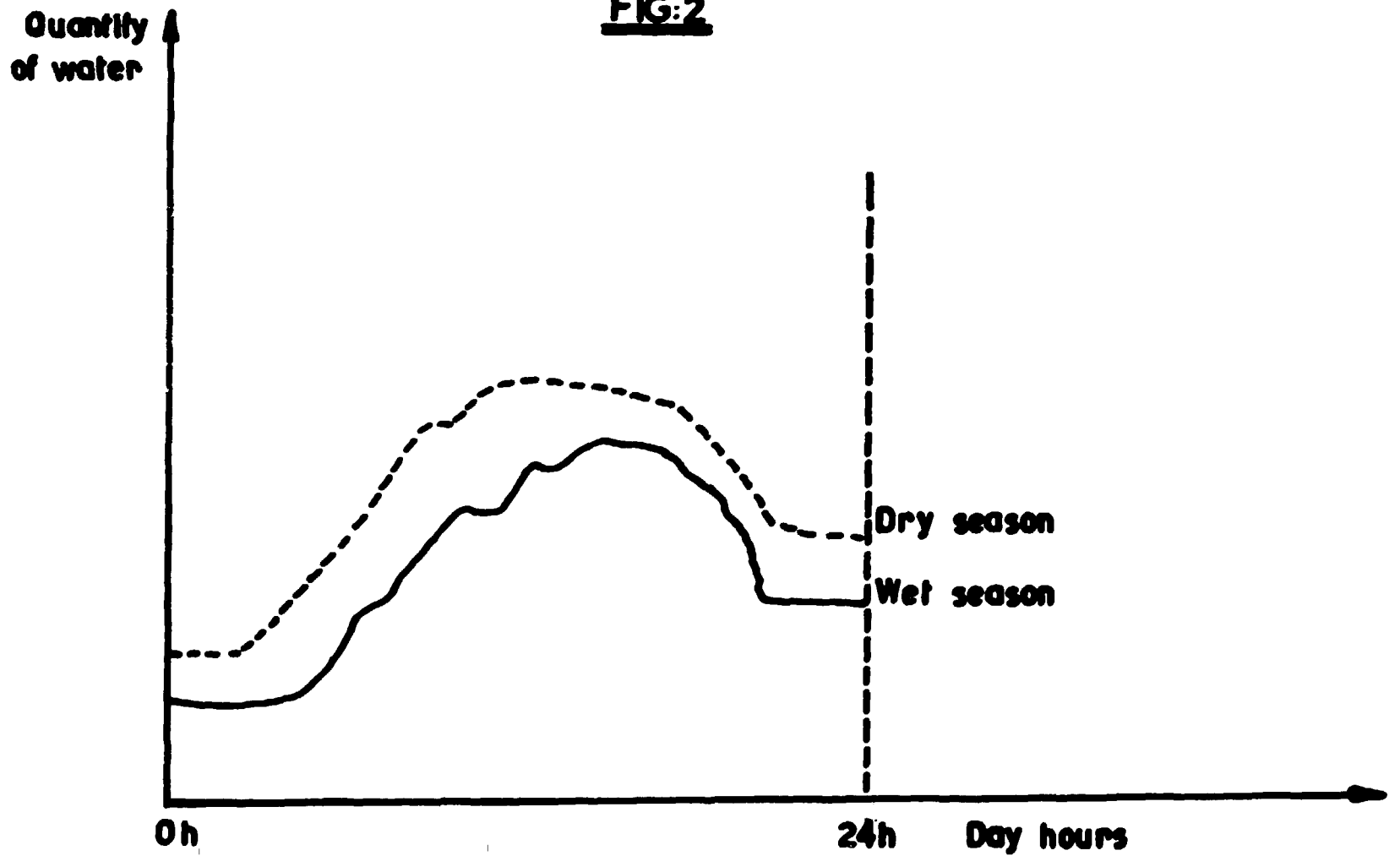
SHAPE OF THE OVERALL WATER DEMAND (annual curve)

FIG:1



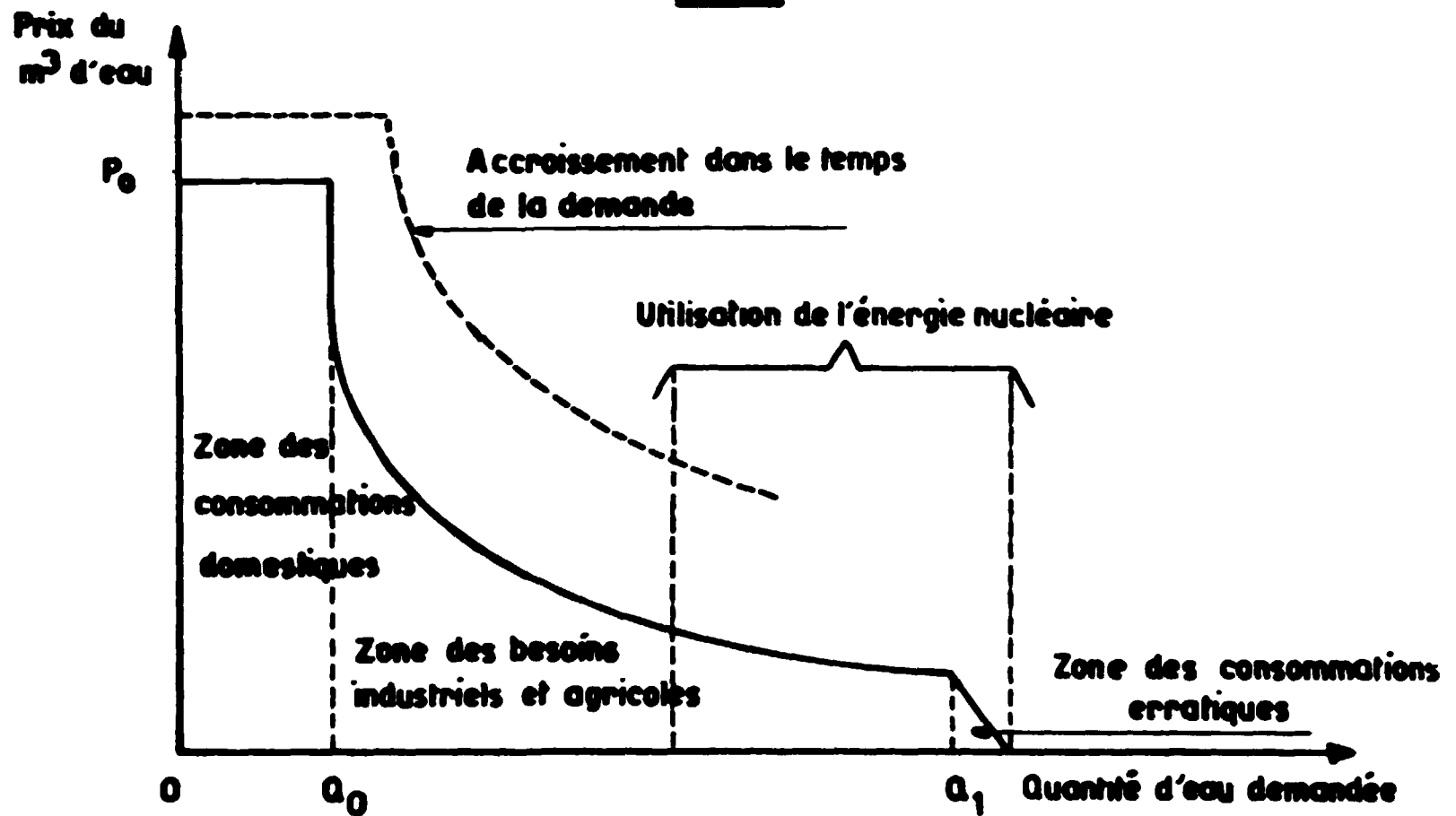
DAILY CURVE

FIG:2



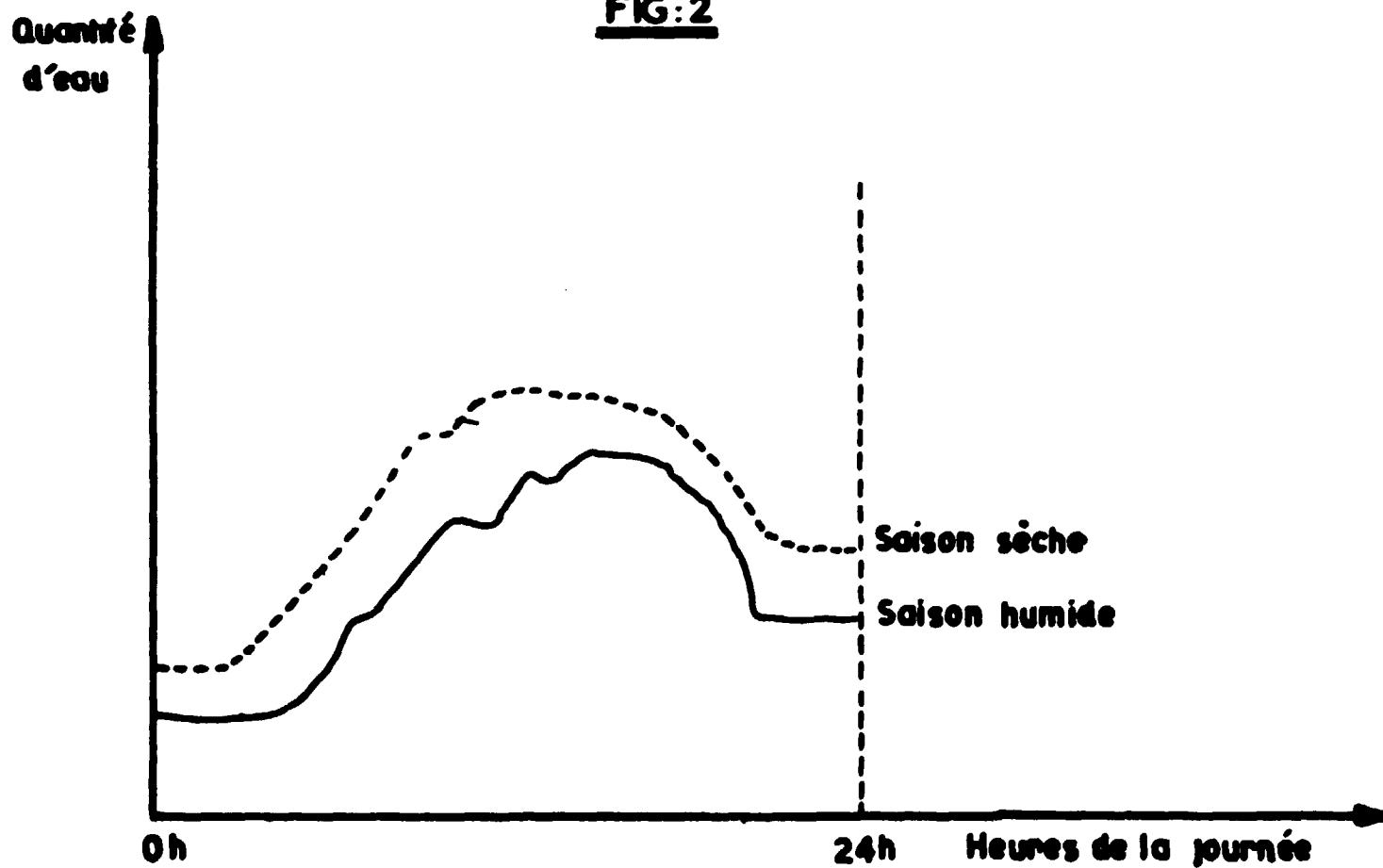
FORME DE LA DEMANDE GENERALE D'EAU (courbe annuelle)

FIG:1



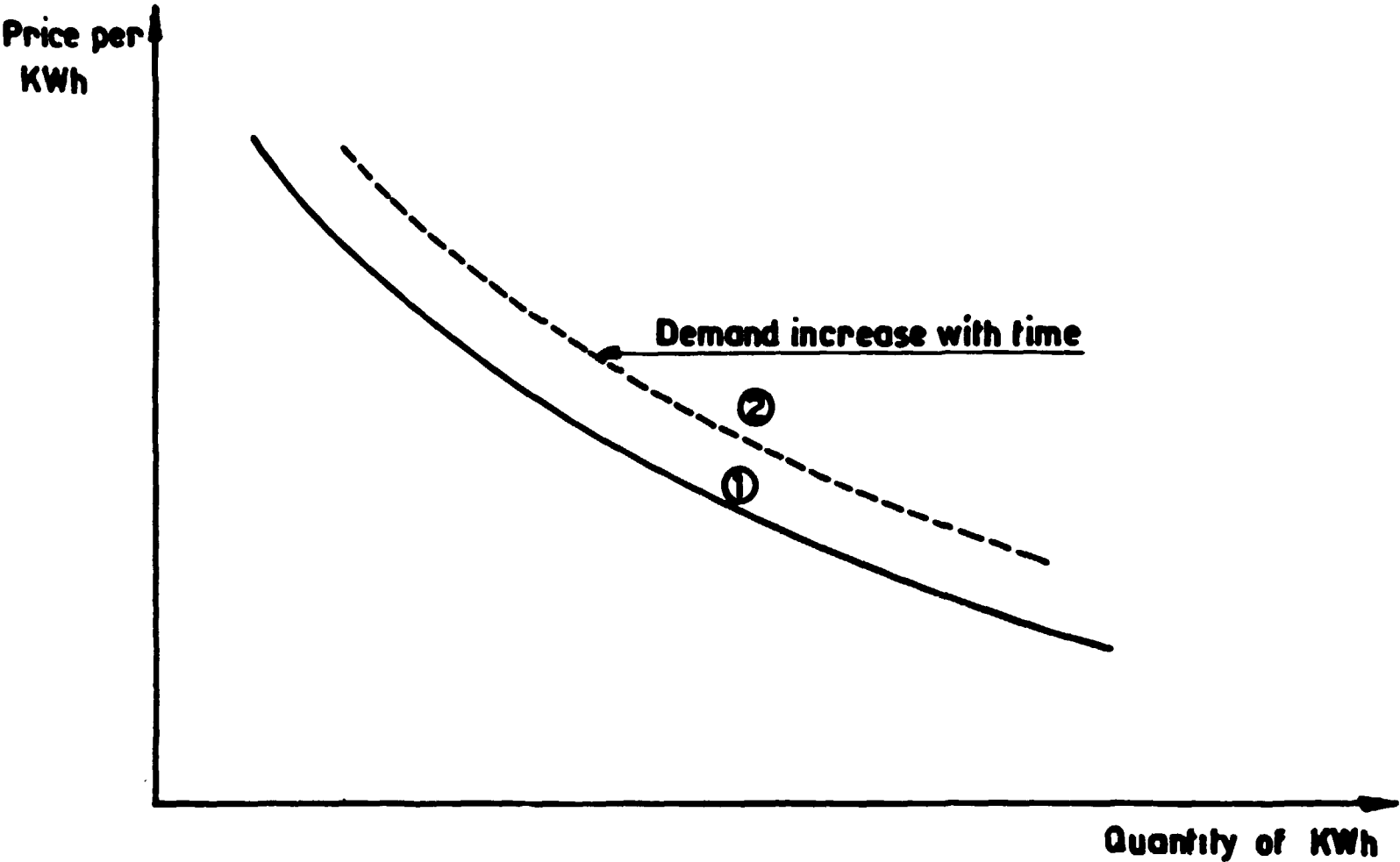
COURBE JOURNALIERE

FIG:2



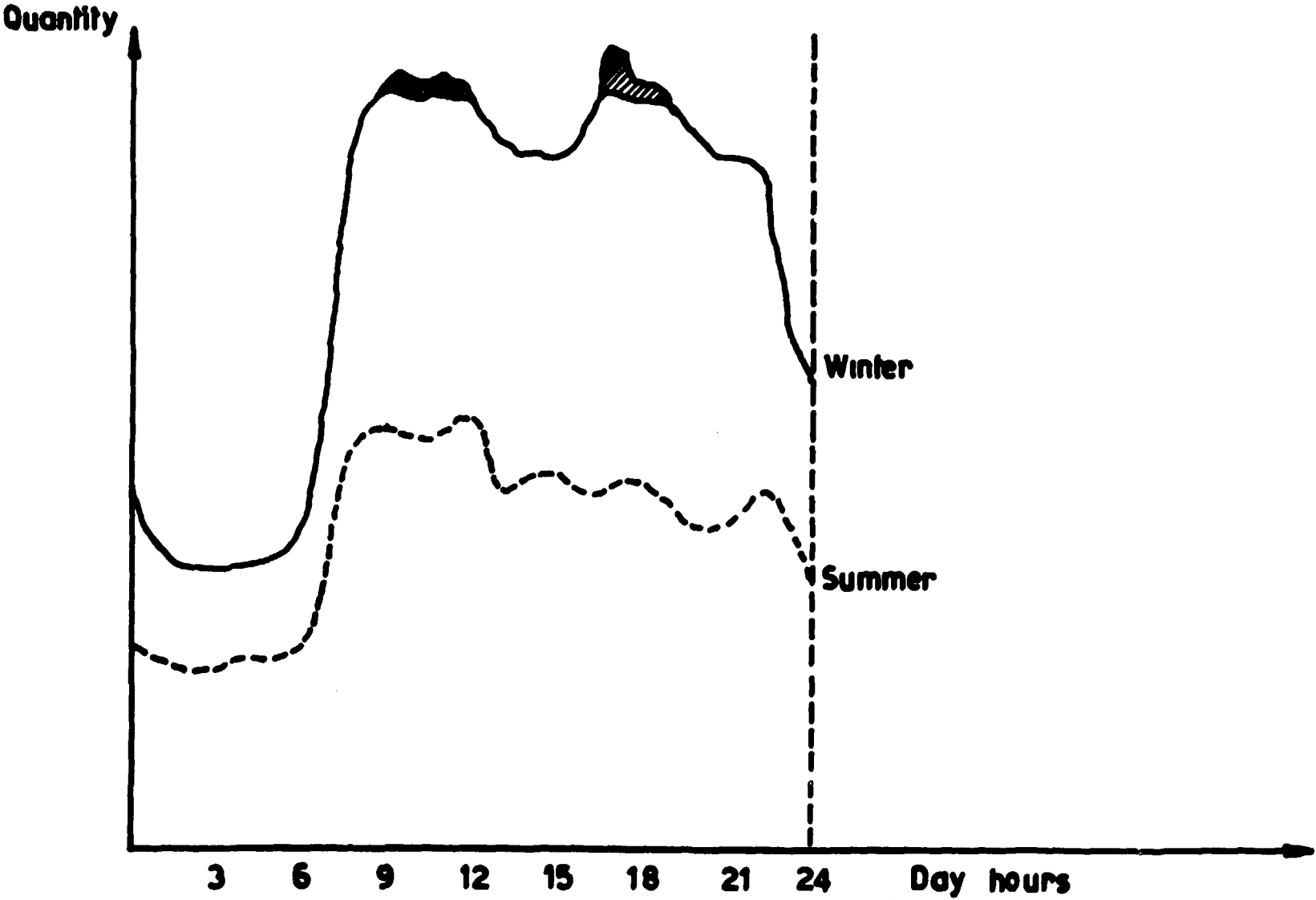
SHAPE OF THE ANNUAL ELECTRICITY DEMAND

FIG:3



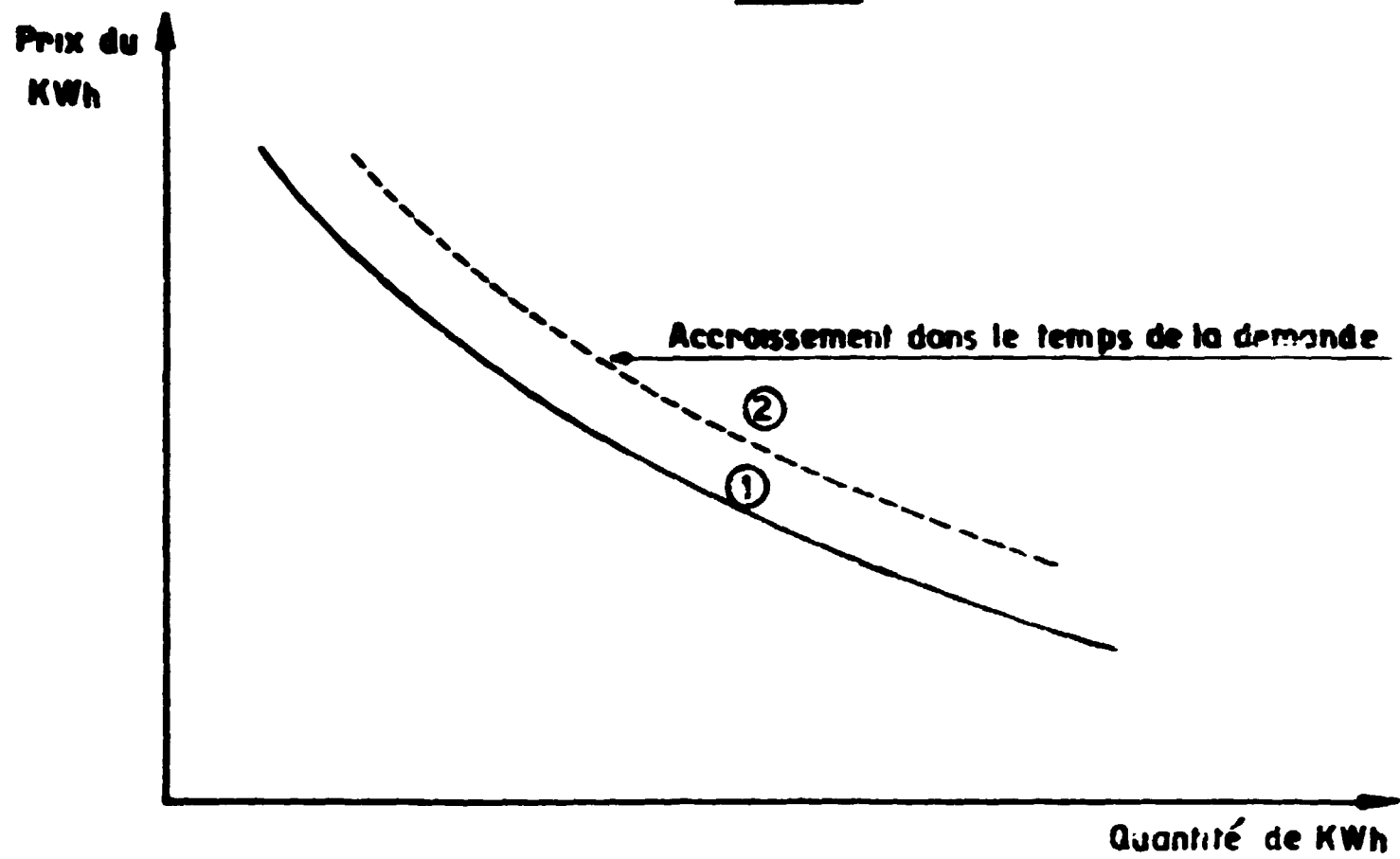
DAILY CURVE OF THE GRID DEMAND

FIG:4



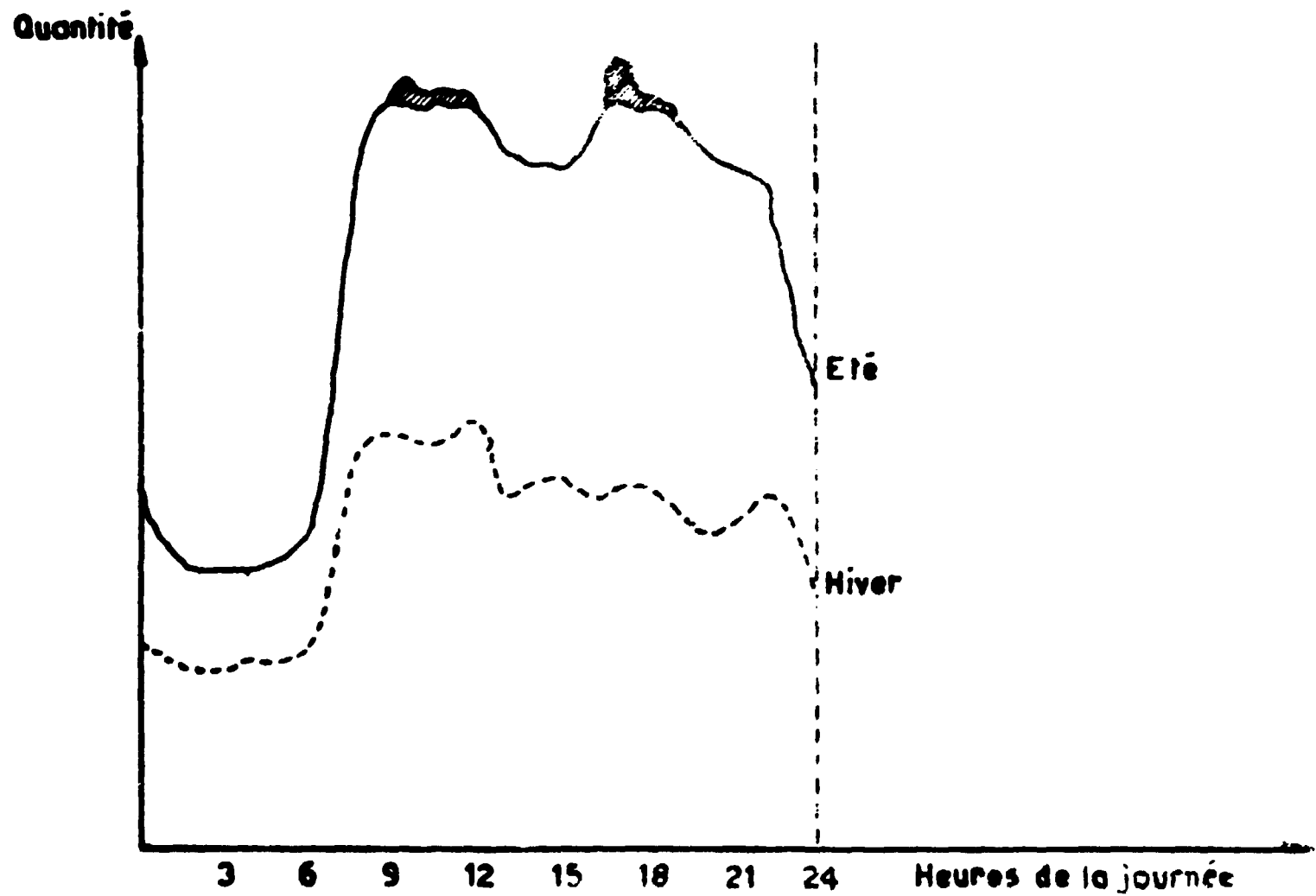
FORME DE LA DEMANDE ANNUELLE D'ELECTRICITE

FIG 3



COURBE JOURNALIERE DE DEMANDE DU RESEAU

FIG 4



WATER AND ELECTRICITY PRODUCTION SYSTEMS

FIG 5

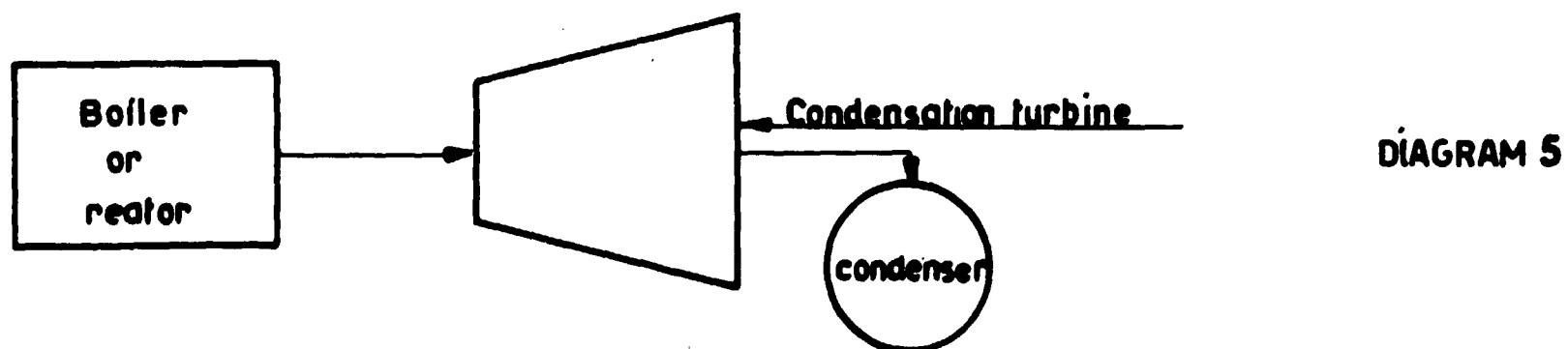
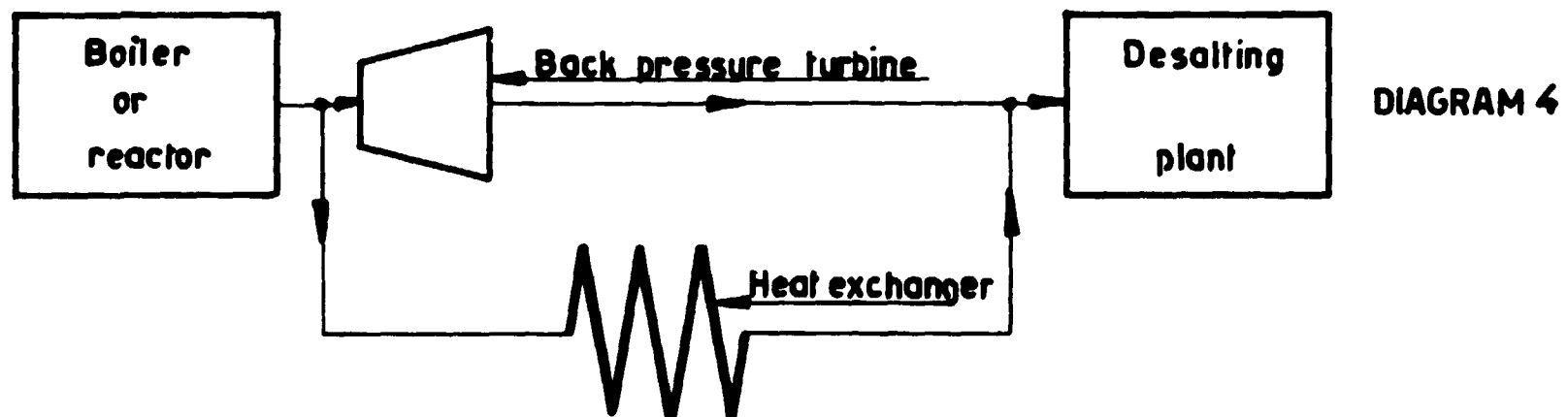
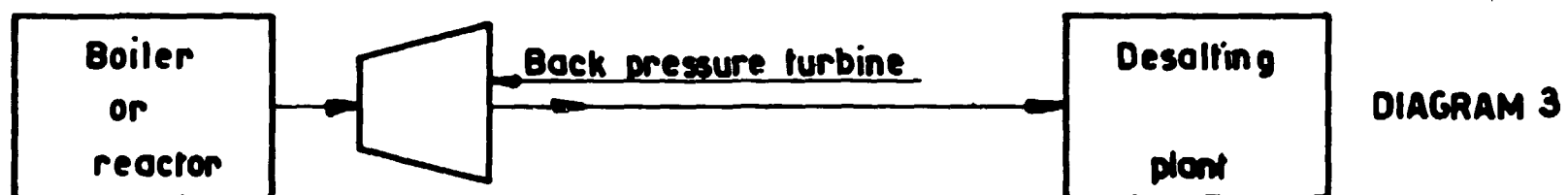
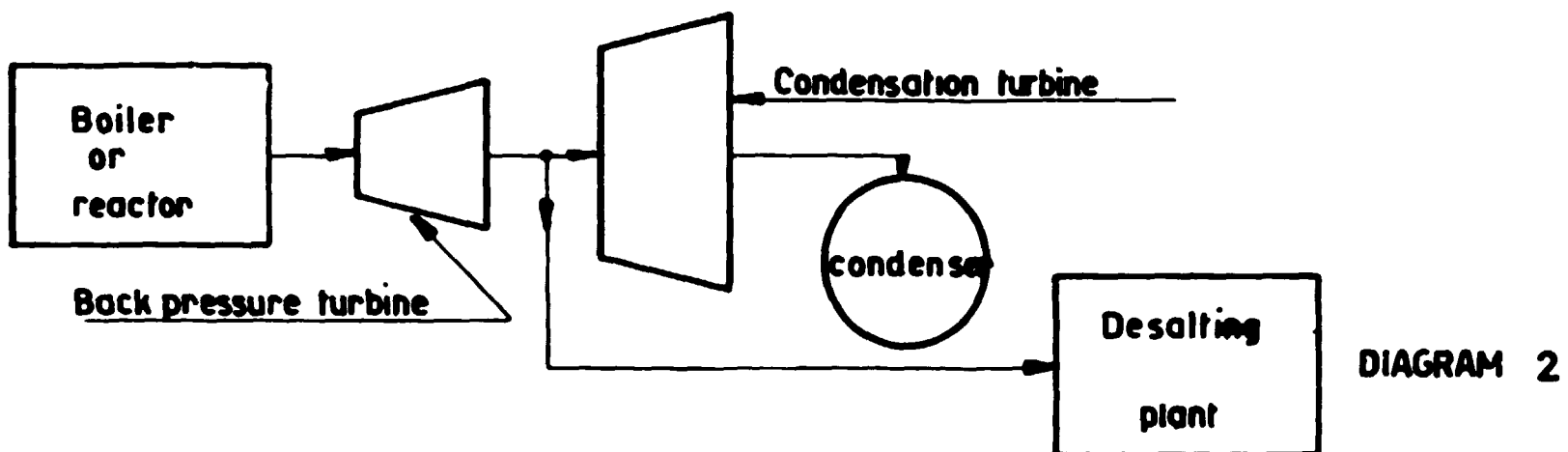
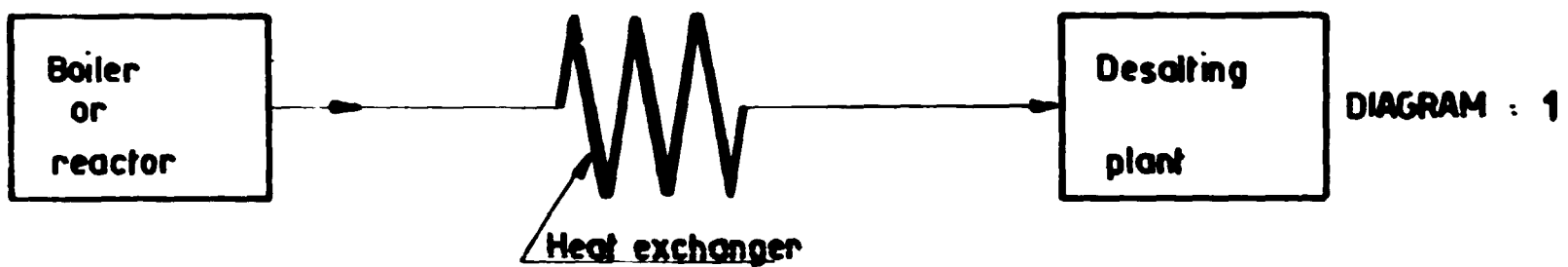
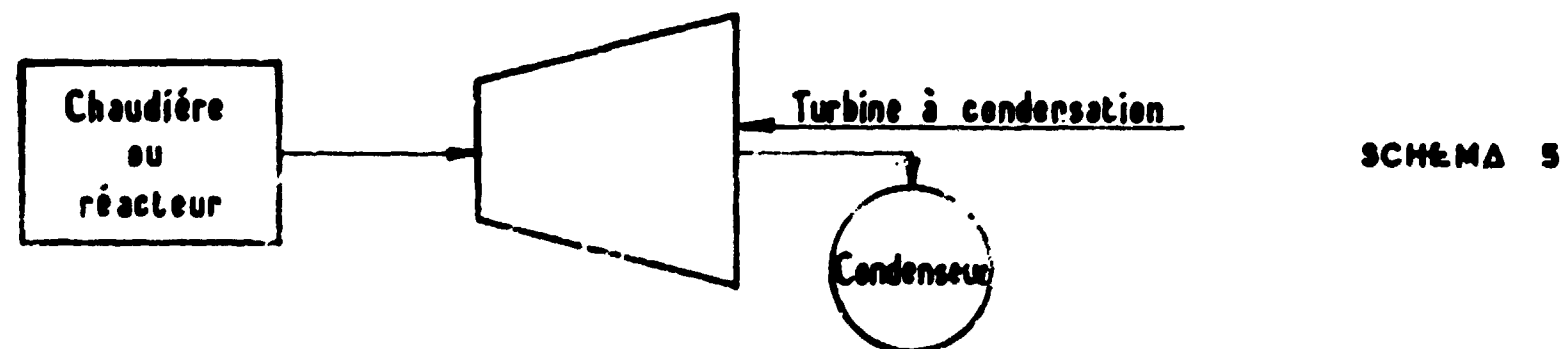
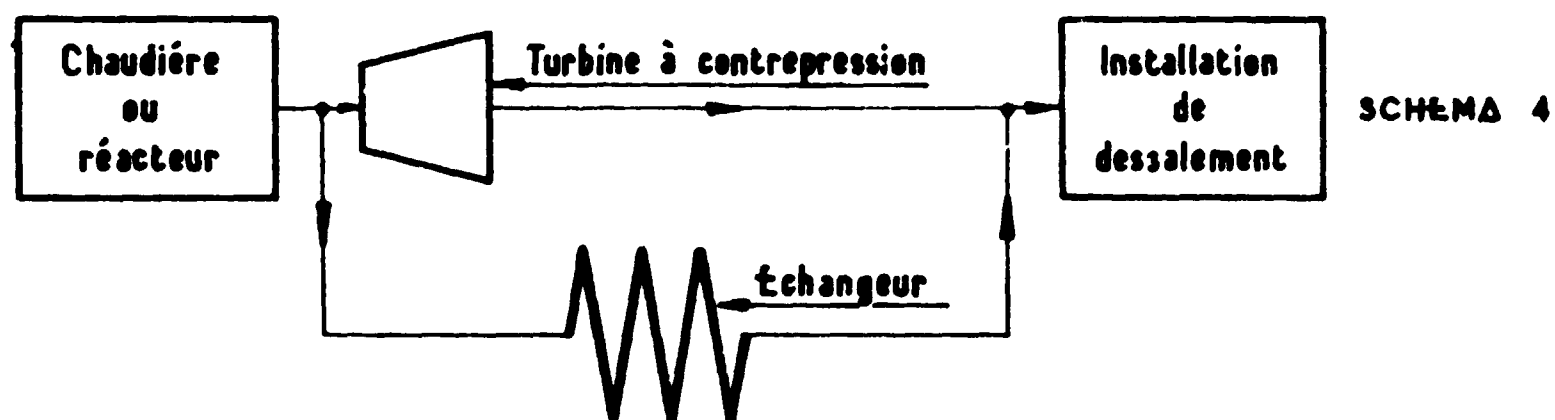
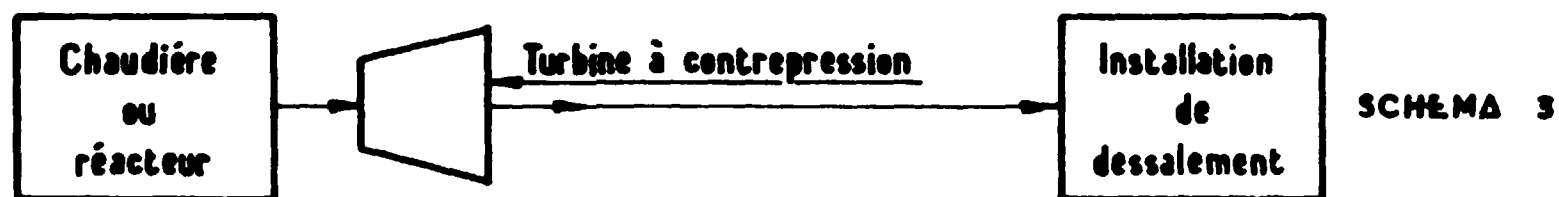
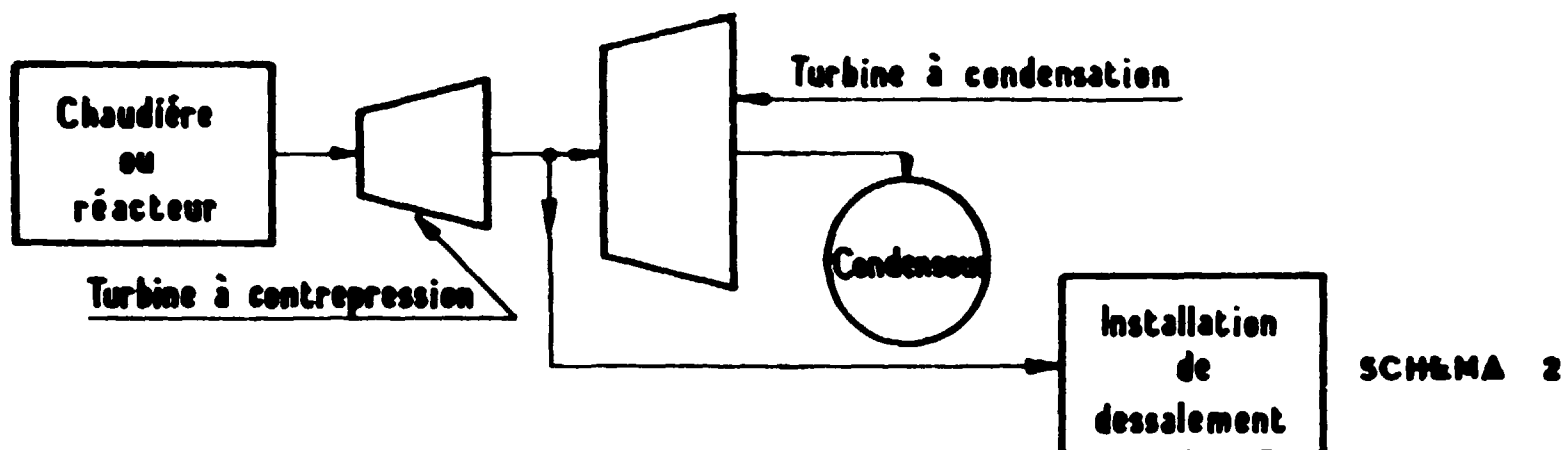
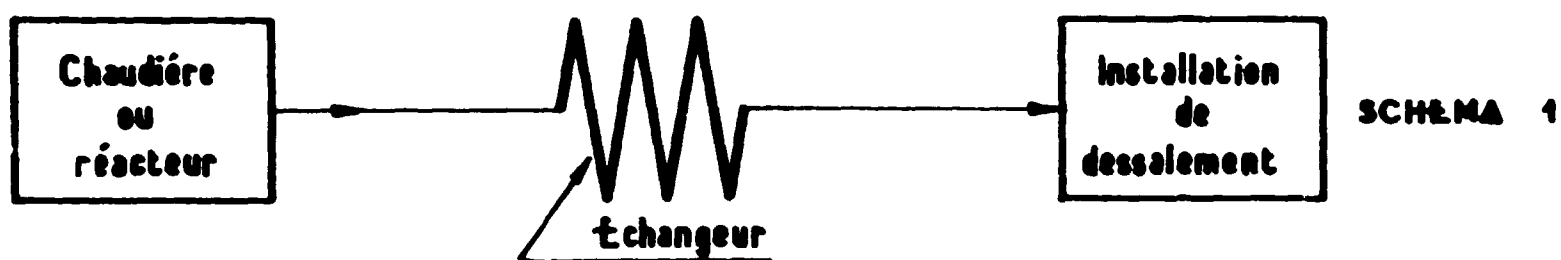


FIG: 5



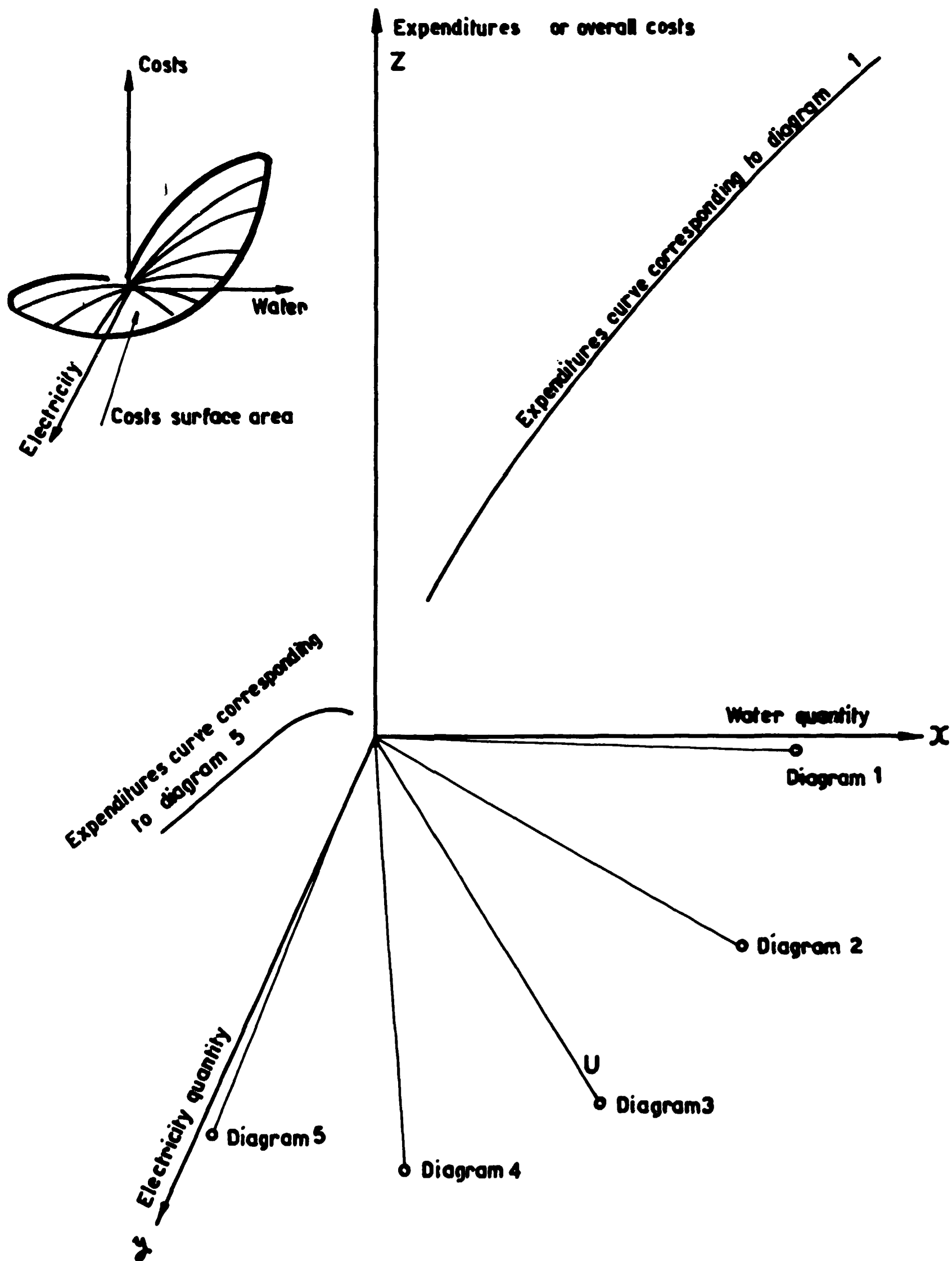


FIG:6

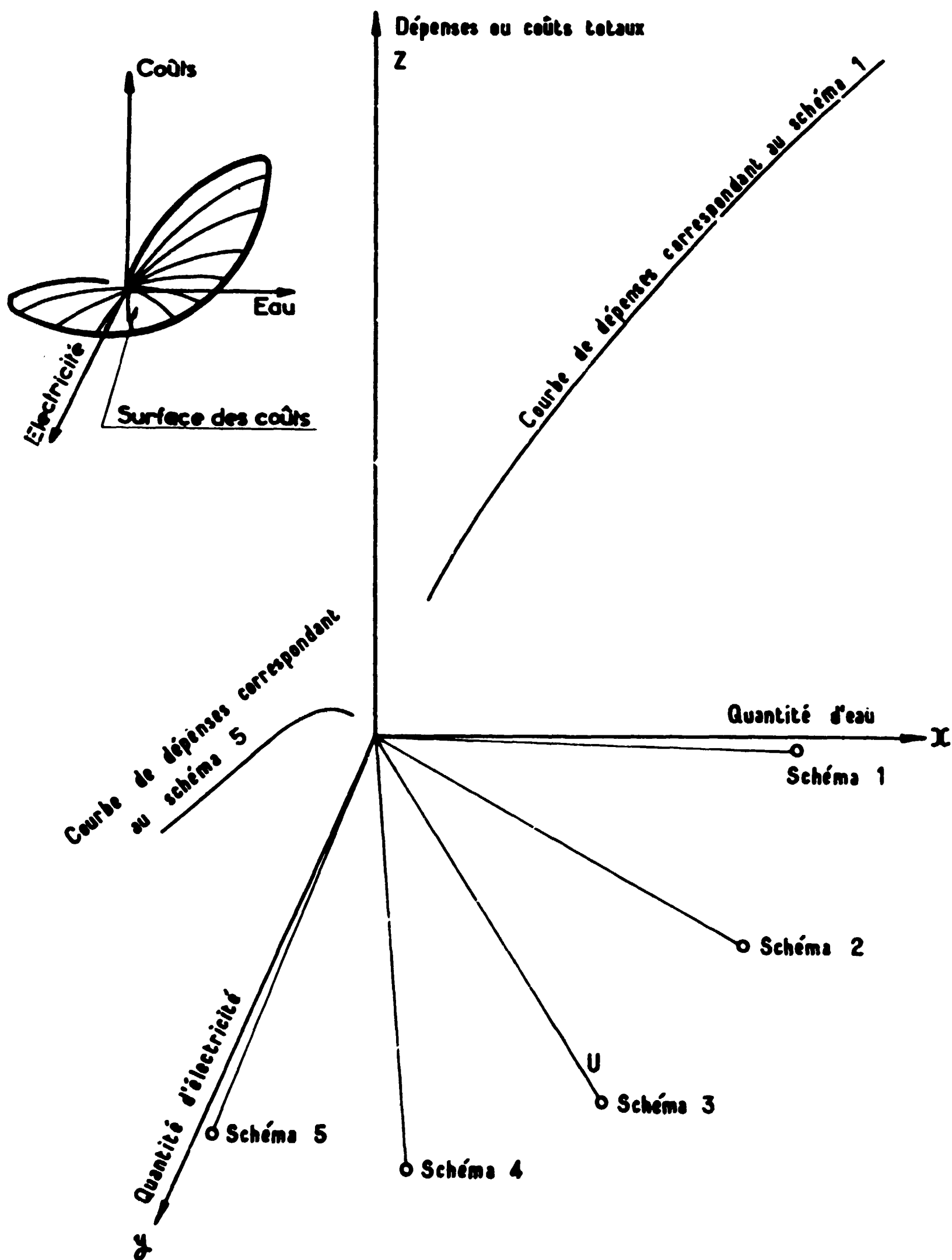


FIG: 6

FIG:7

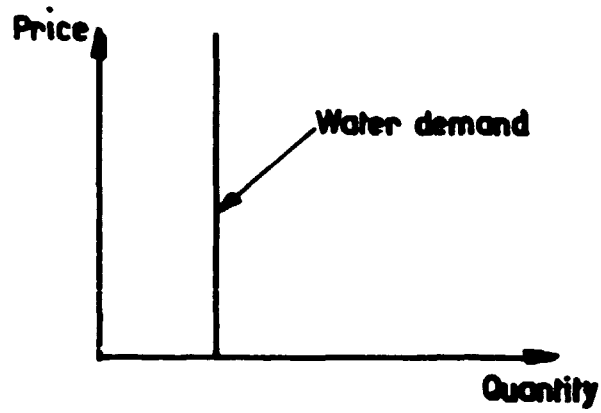


FIG:8

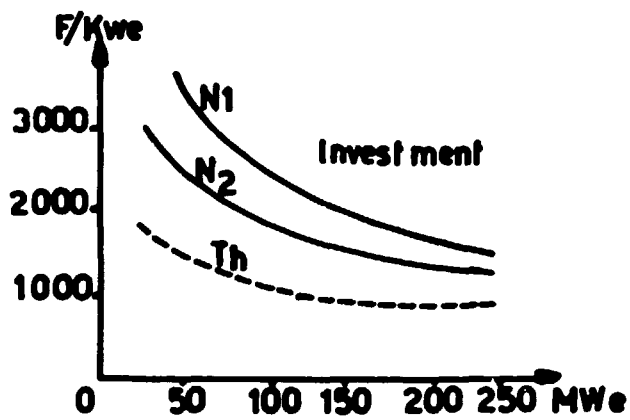
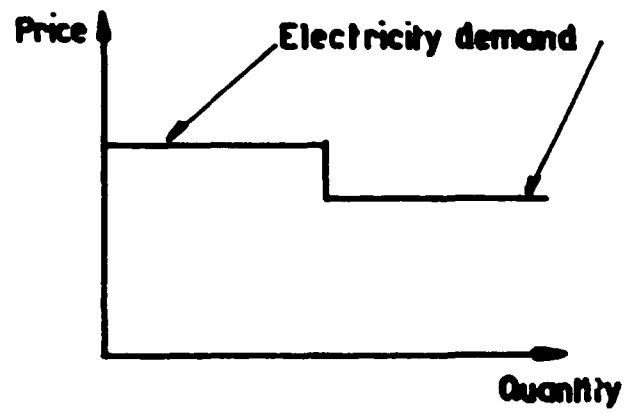


FIG:9

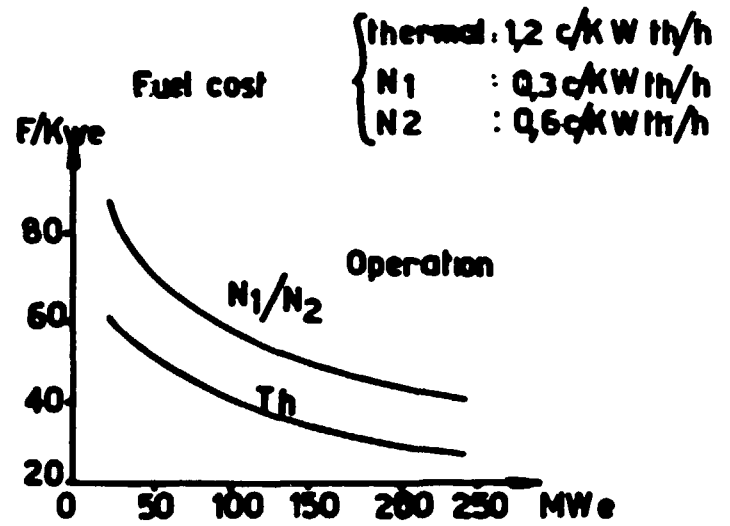


FIG:10

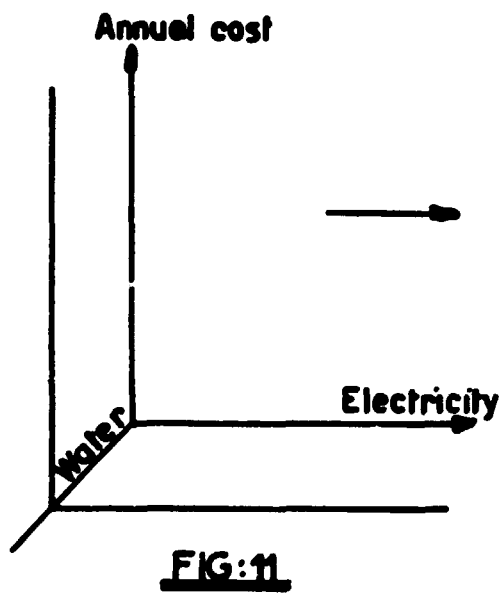


FIG:11

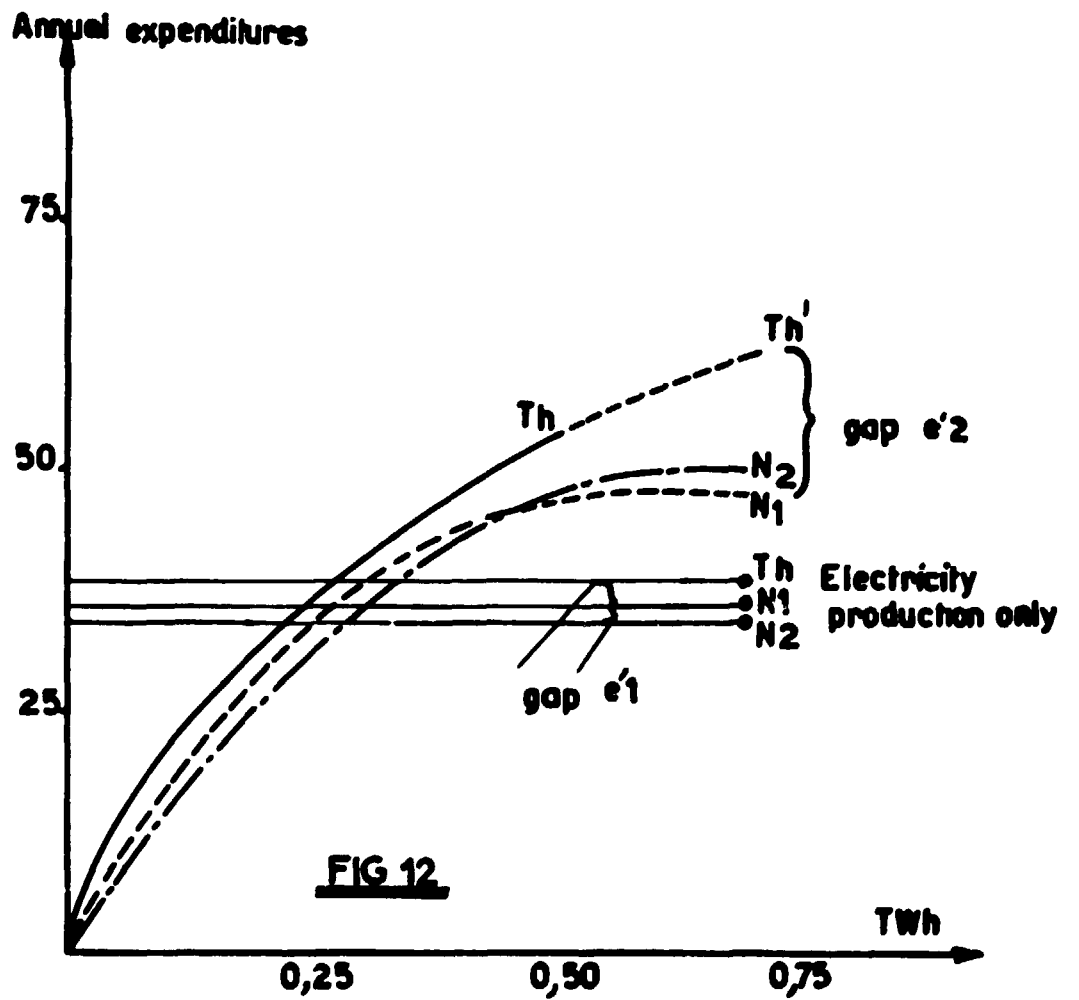


FIG:12

FIG : 7

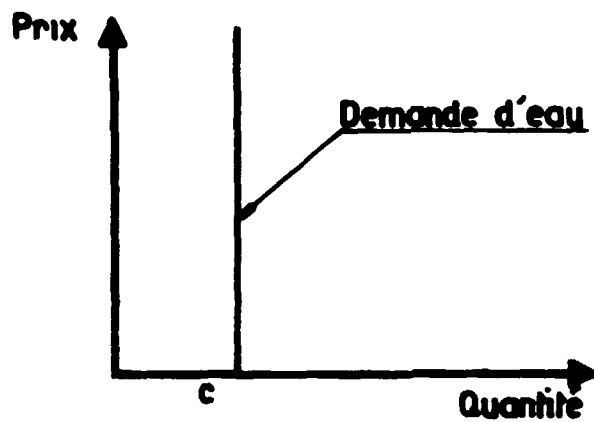


FIG : 8

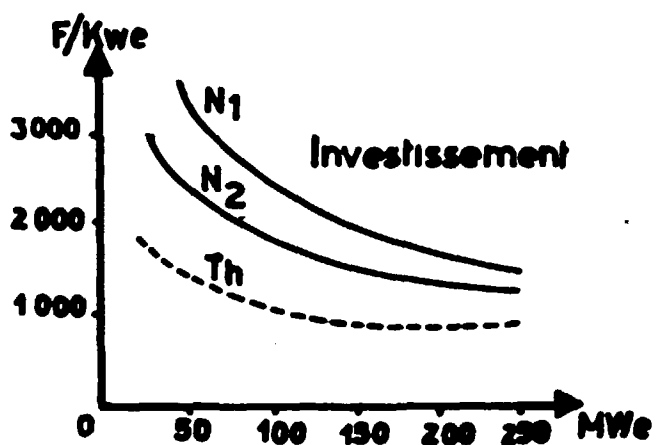
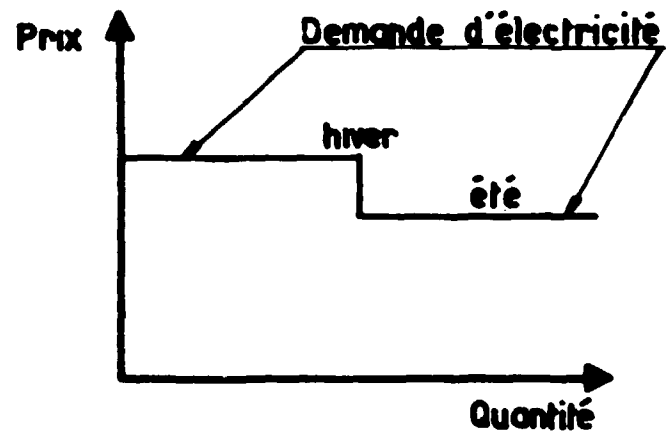


FIG:9

Coût du combustible { thermique: 12 c/KWh/h
N 1 0,3 c/KWh/h
N 2 0,6 c/KWh/h

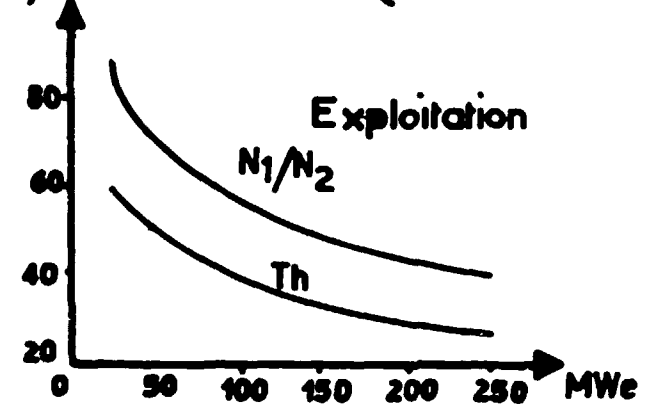


FIG:10

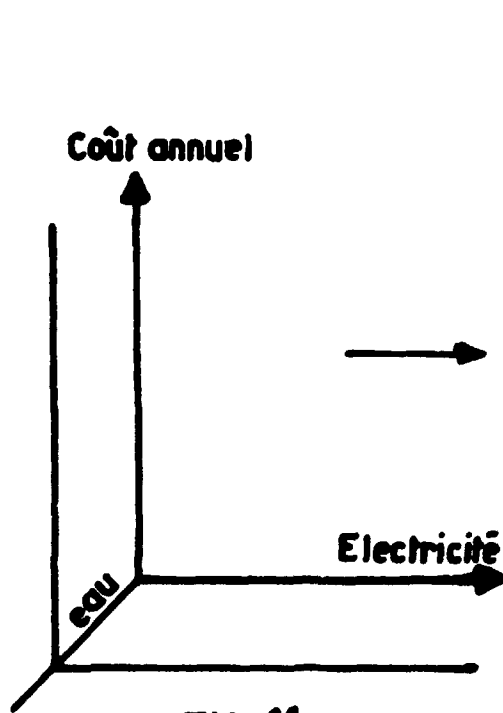


FIG:11

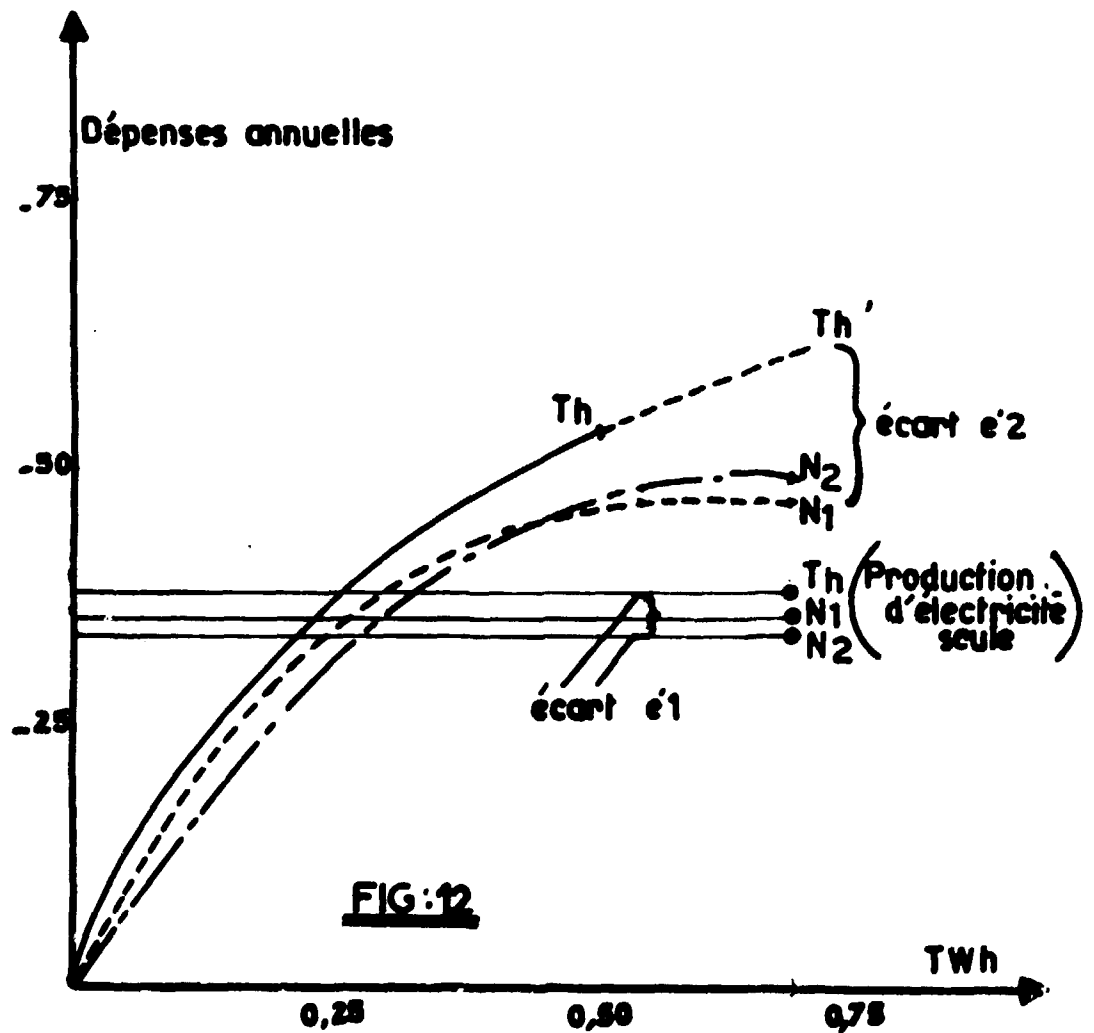


FIG:12

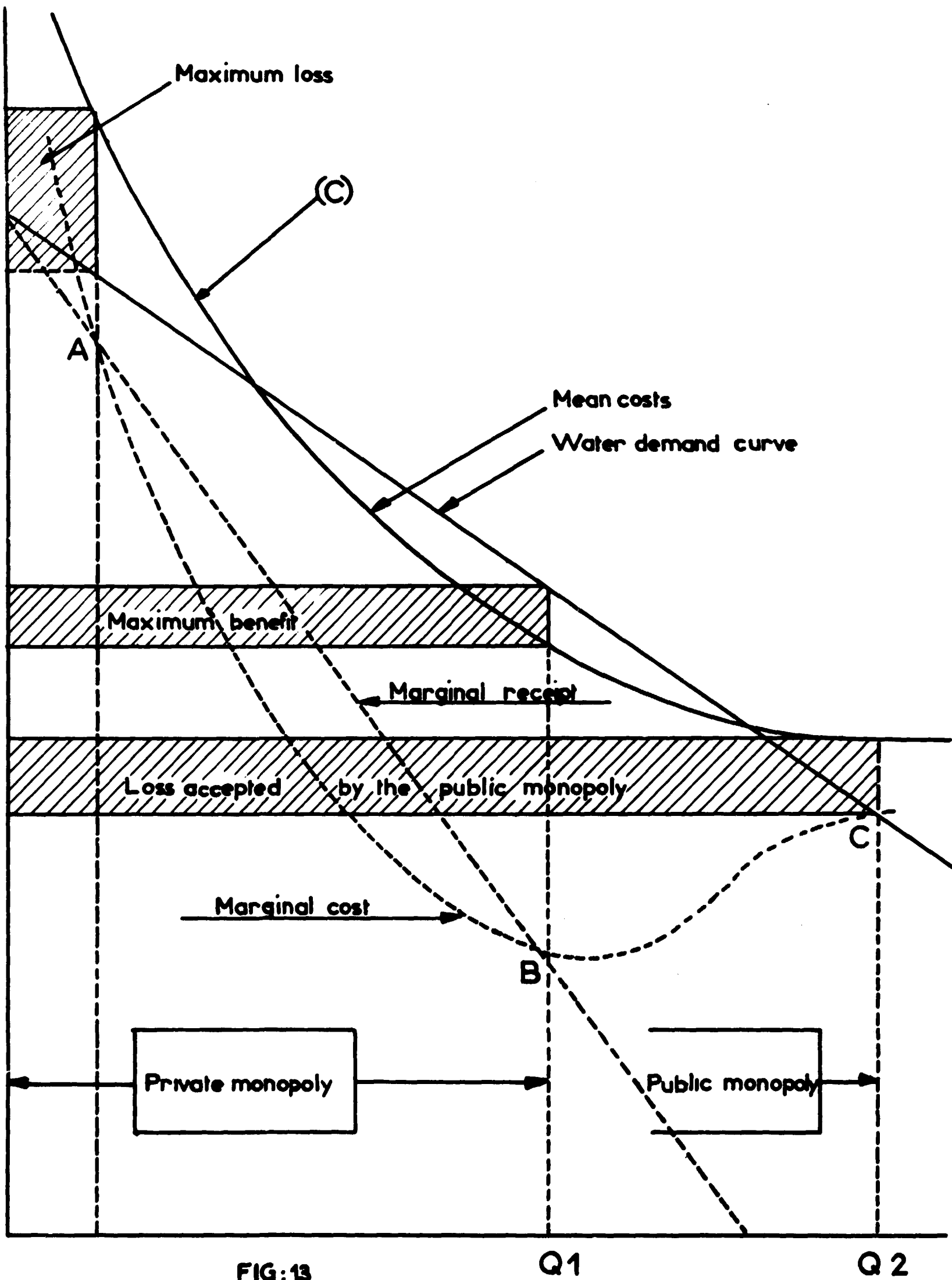


FIG:13

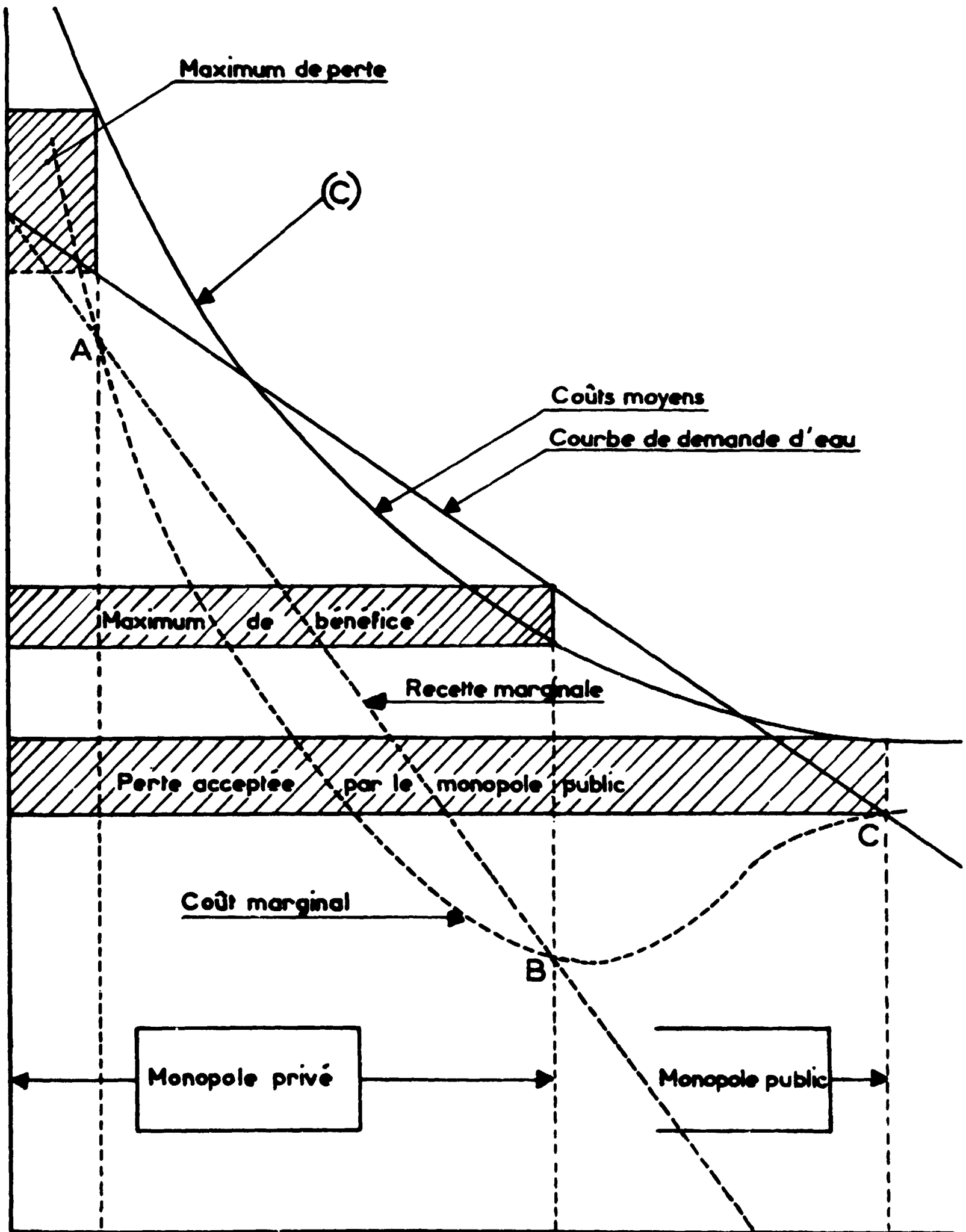
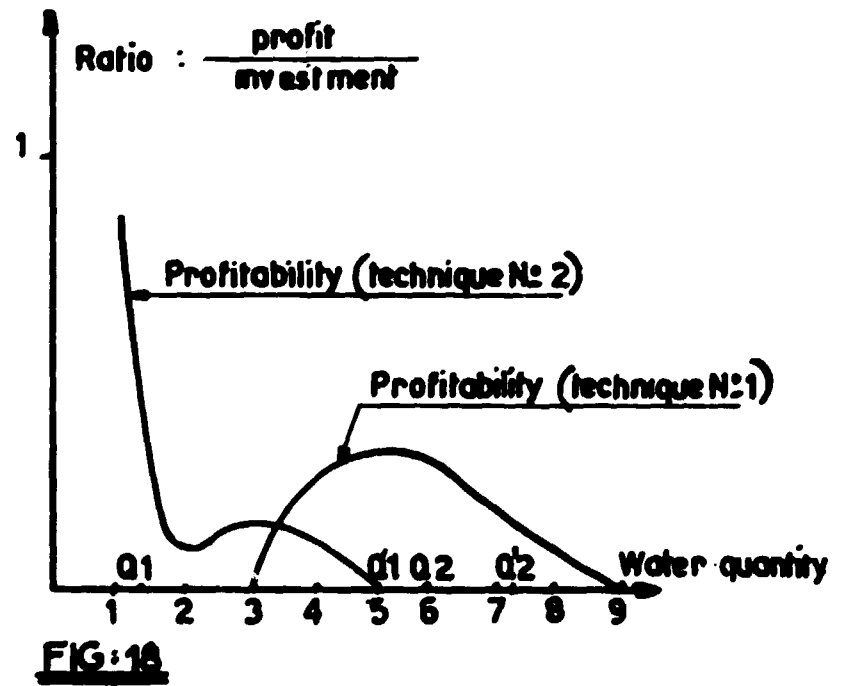
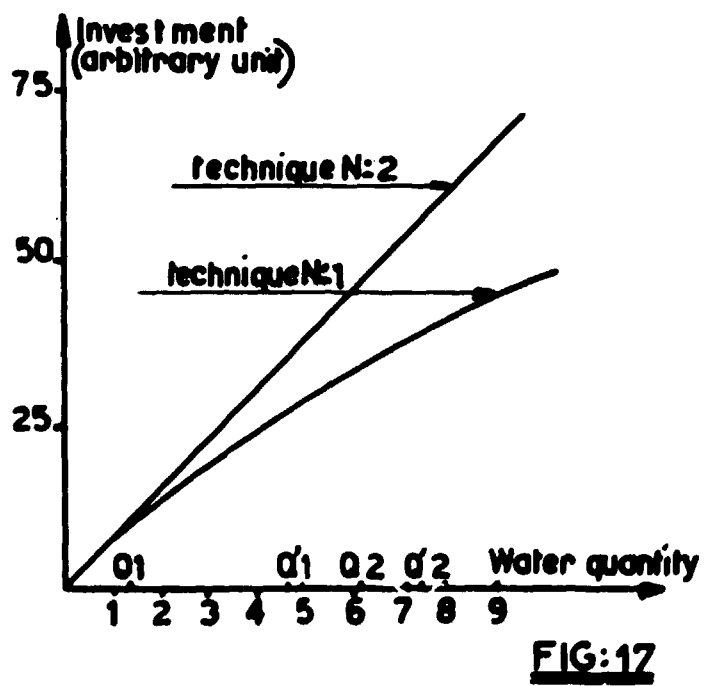
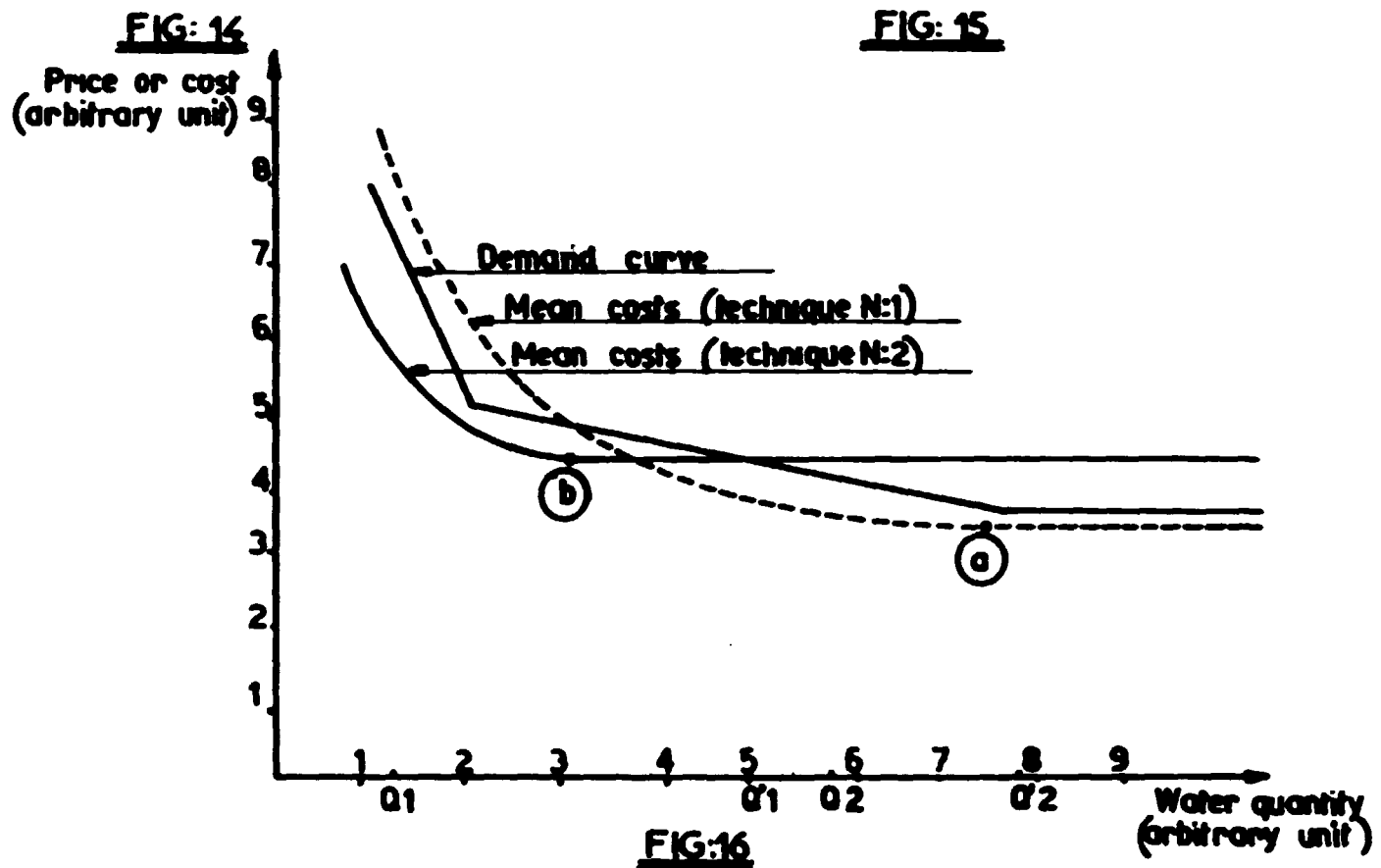
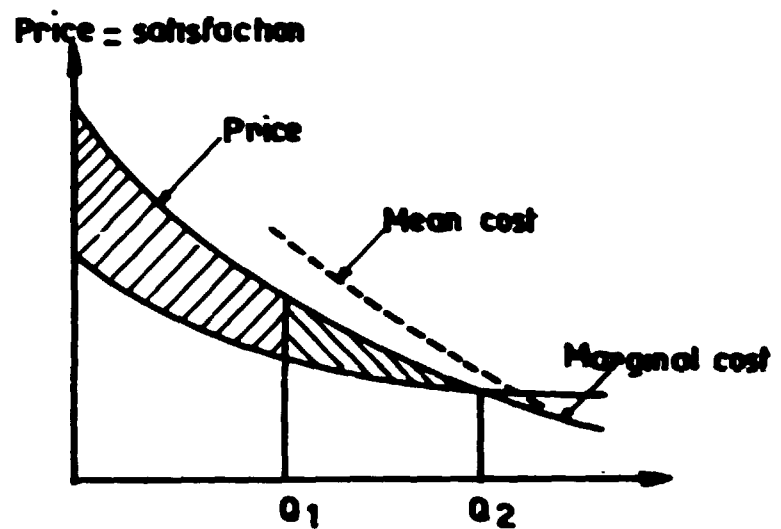
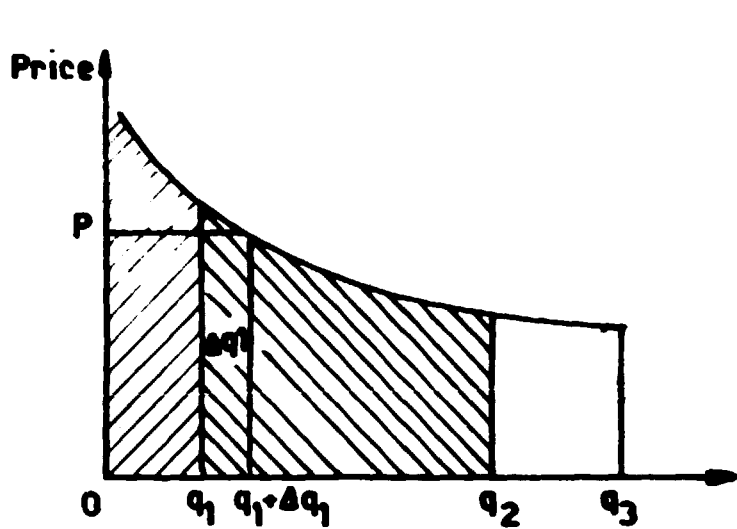


FIG:13

Q_1

Q_2



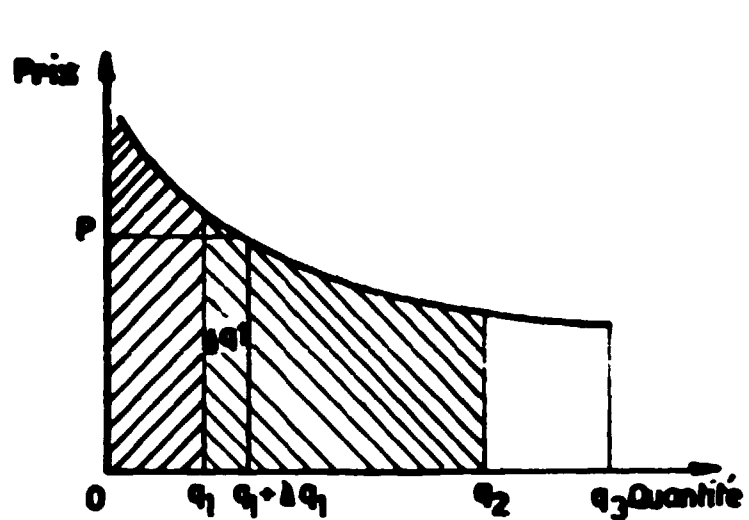


FIG. 14

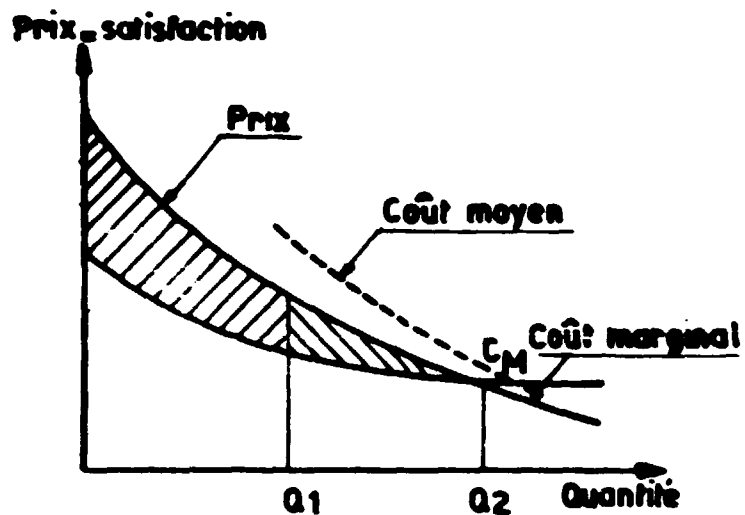


FIG. 15

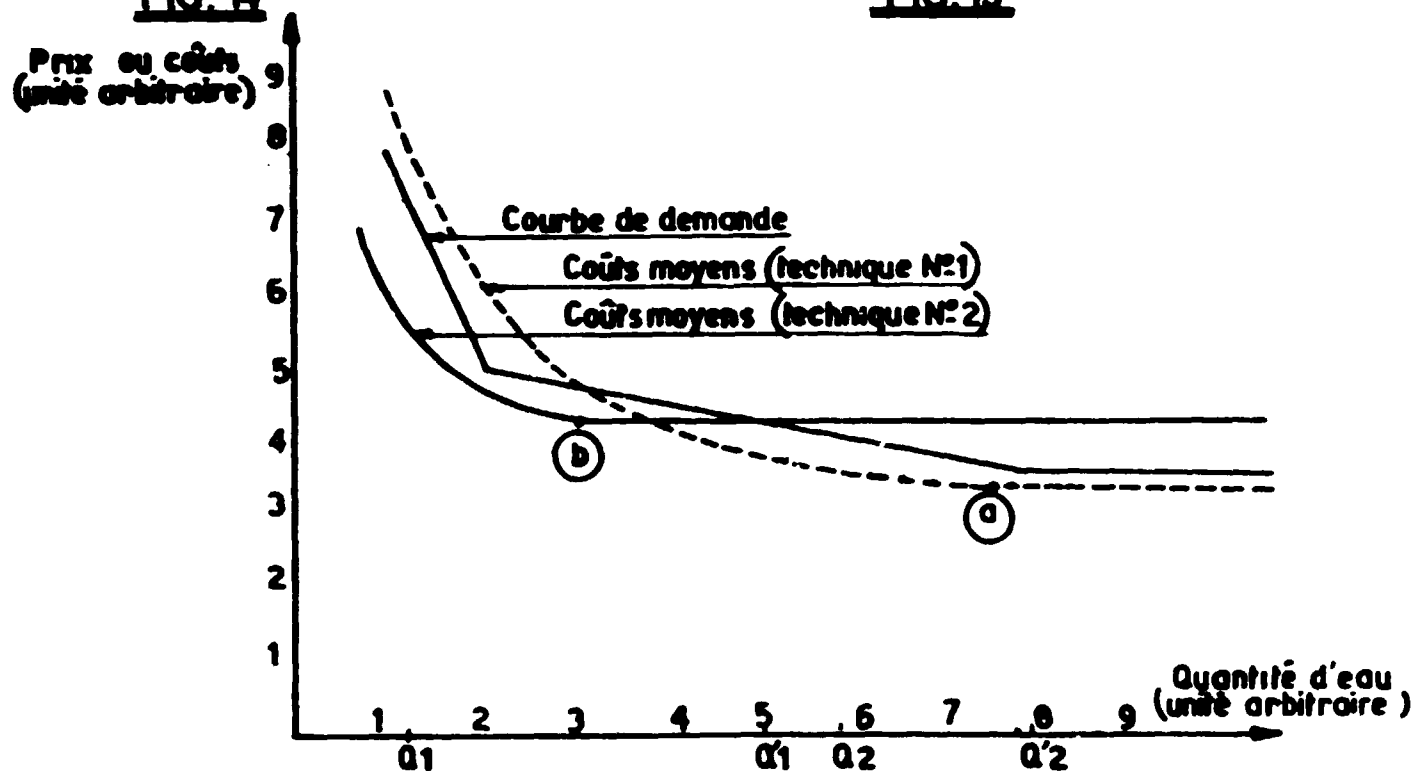


FIG. 16

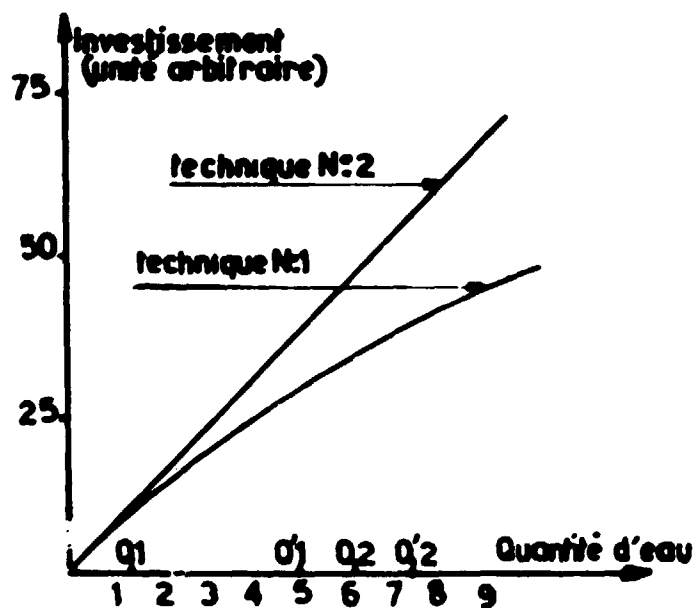


FIG. 17

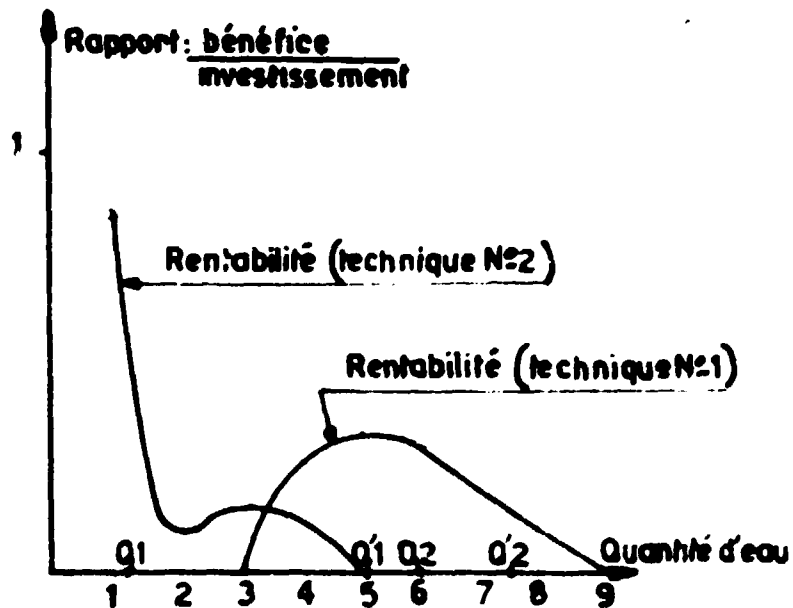
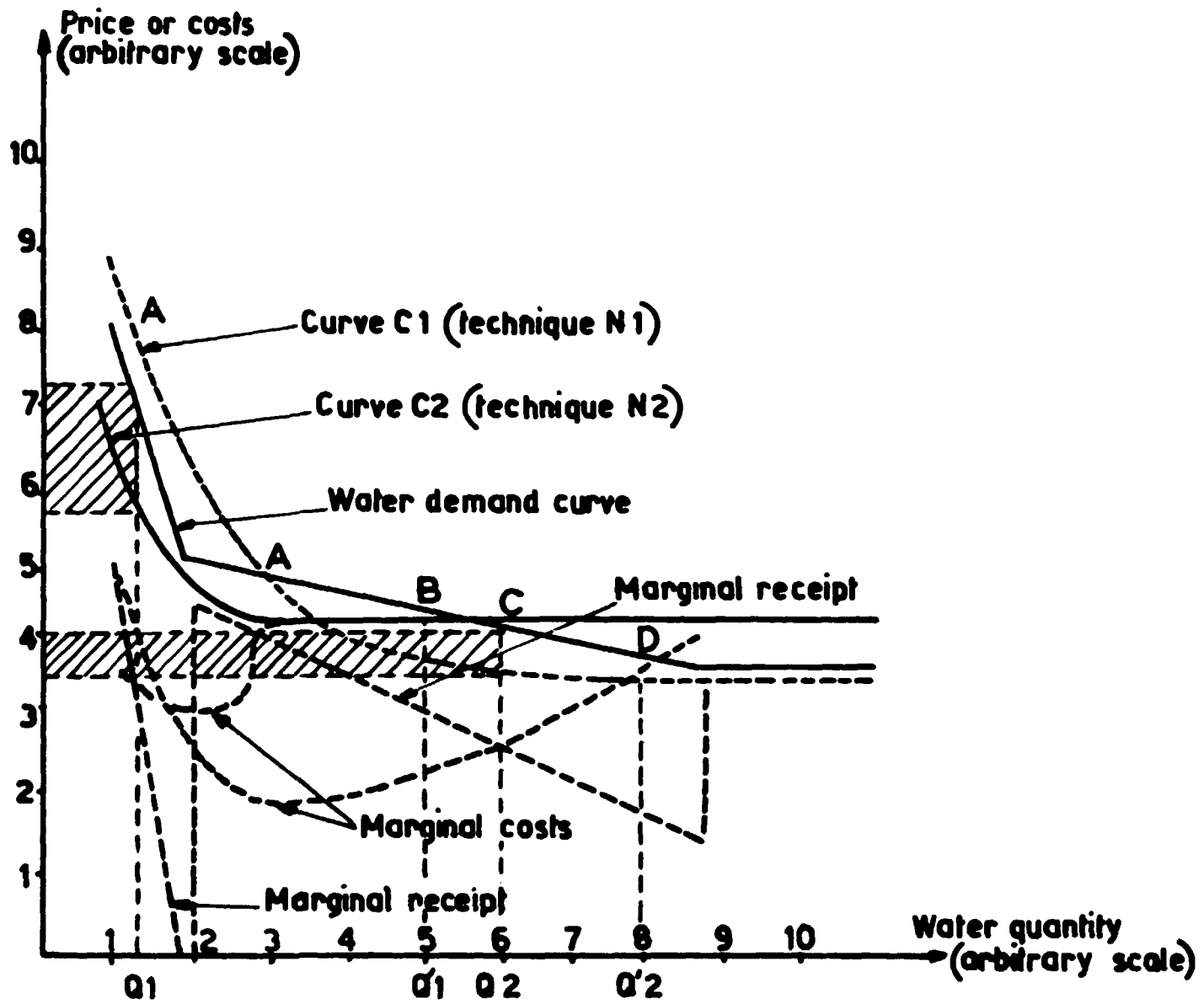


FIG. 18

FIG:19



CURVE OF ISO-EXPENDITURE OF THE DUAL PURPOSE PLANT

FIG:20

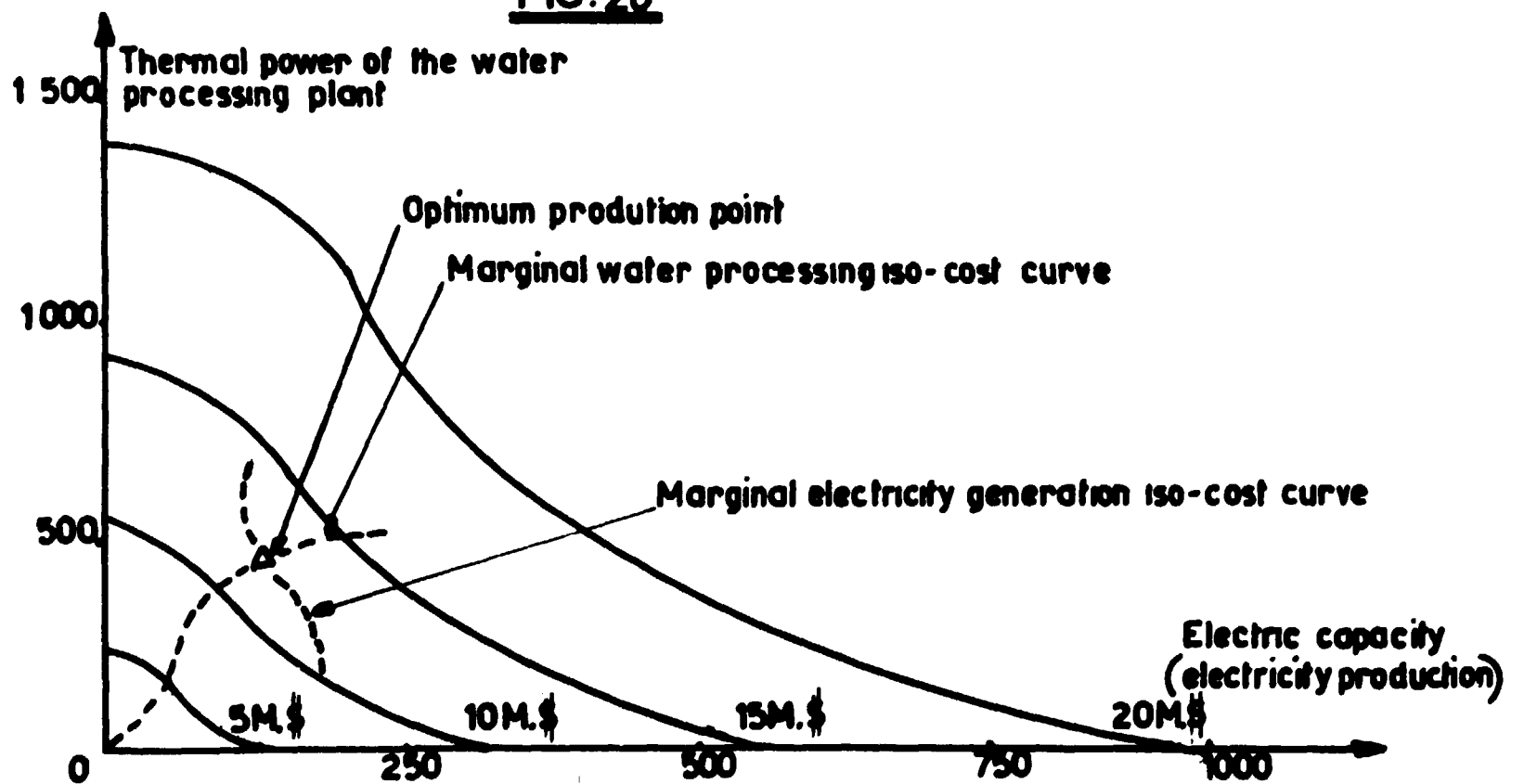
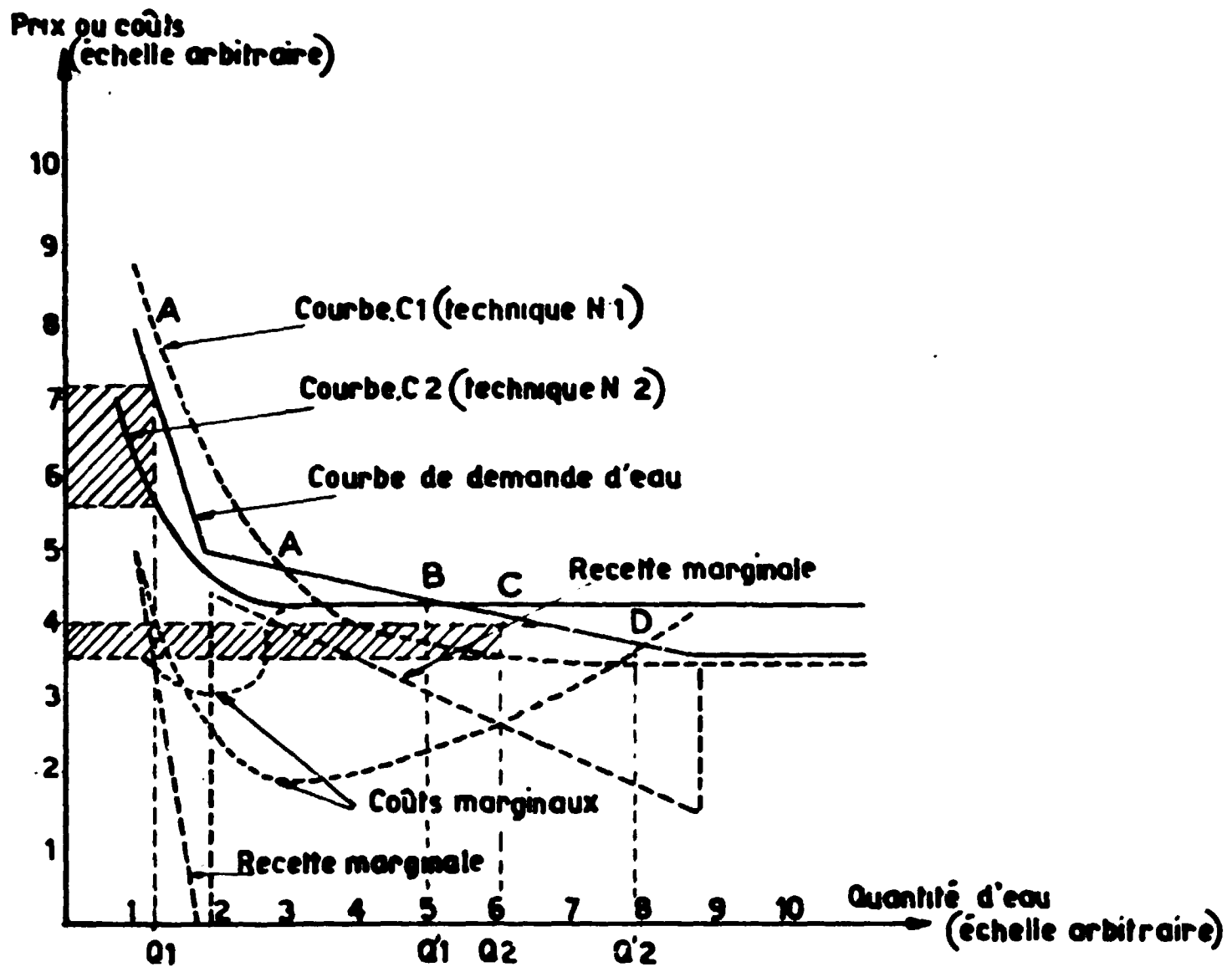
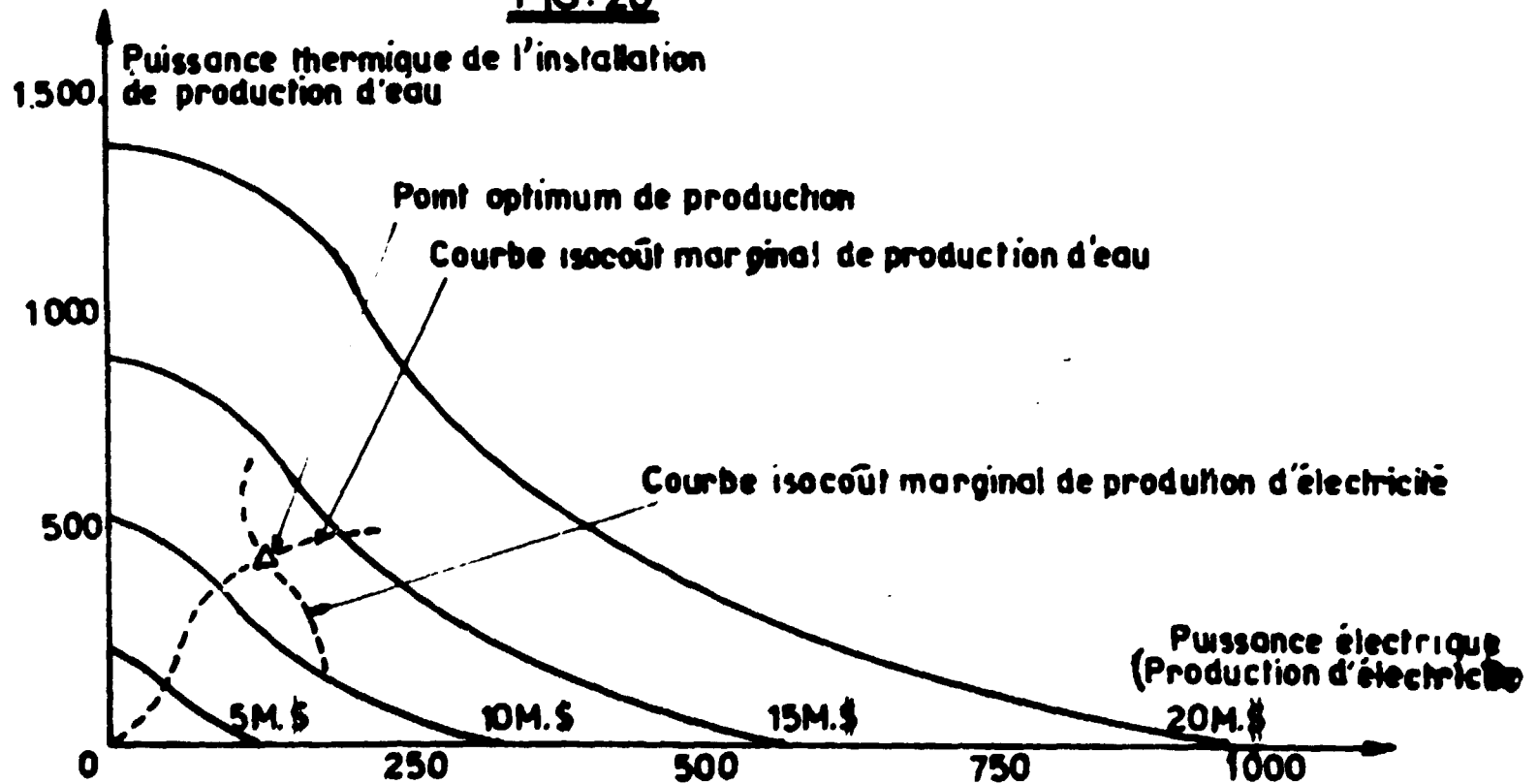


FIG: 19

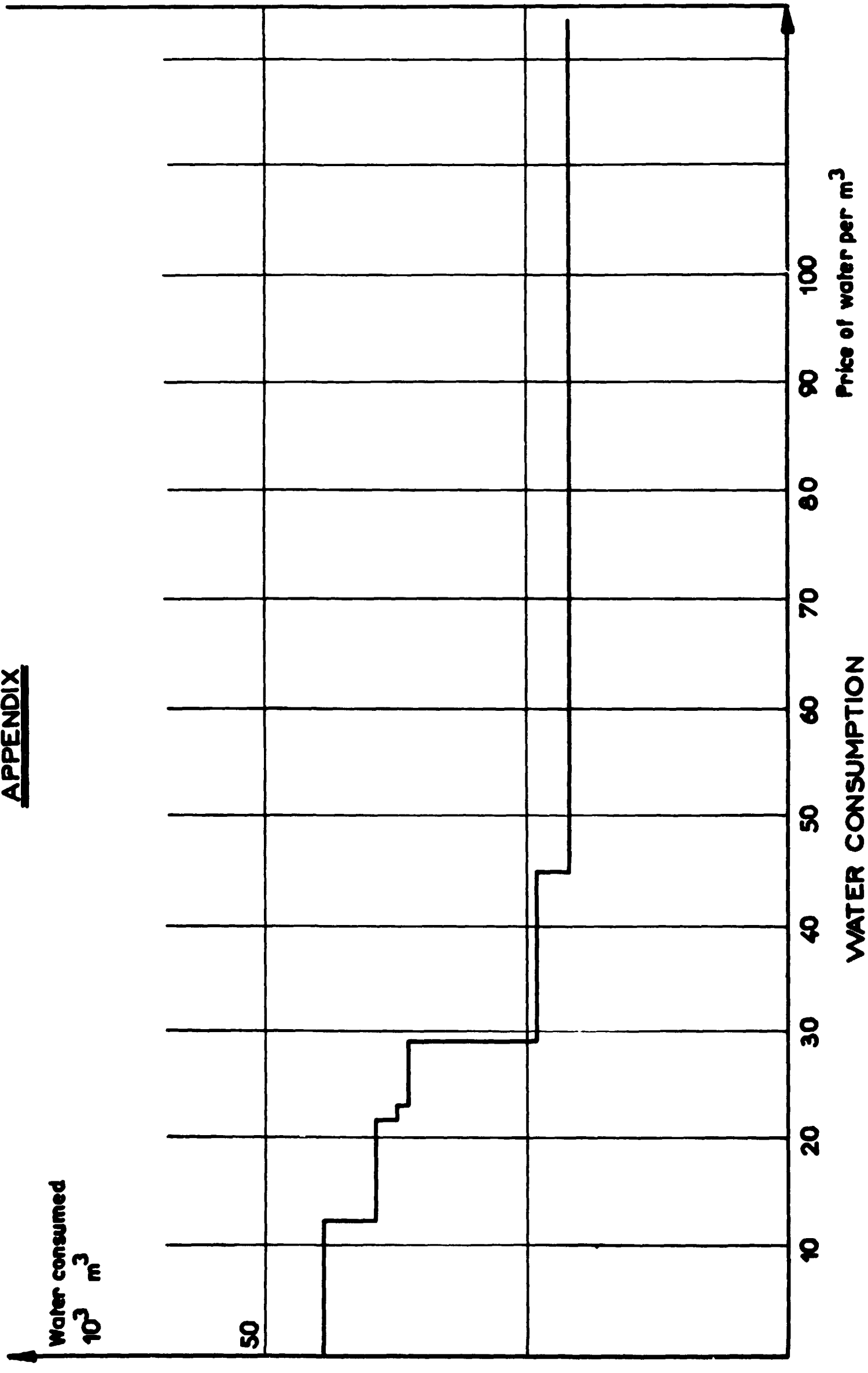


COURBE ISODEPENSES DE L'INSTALLATION MIXTE

FIG: 20

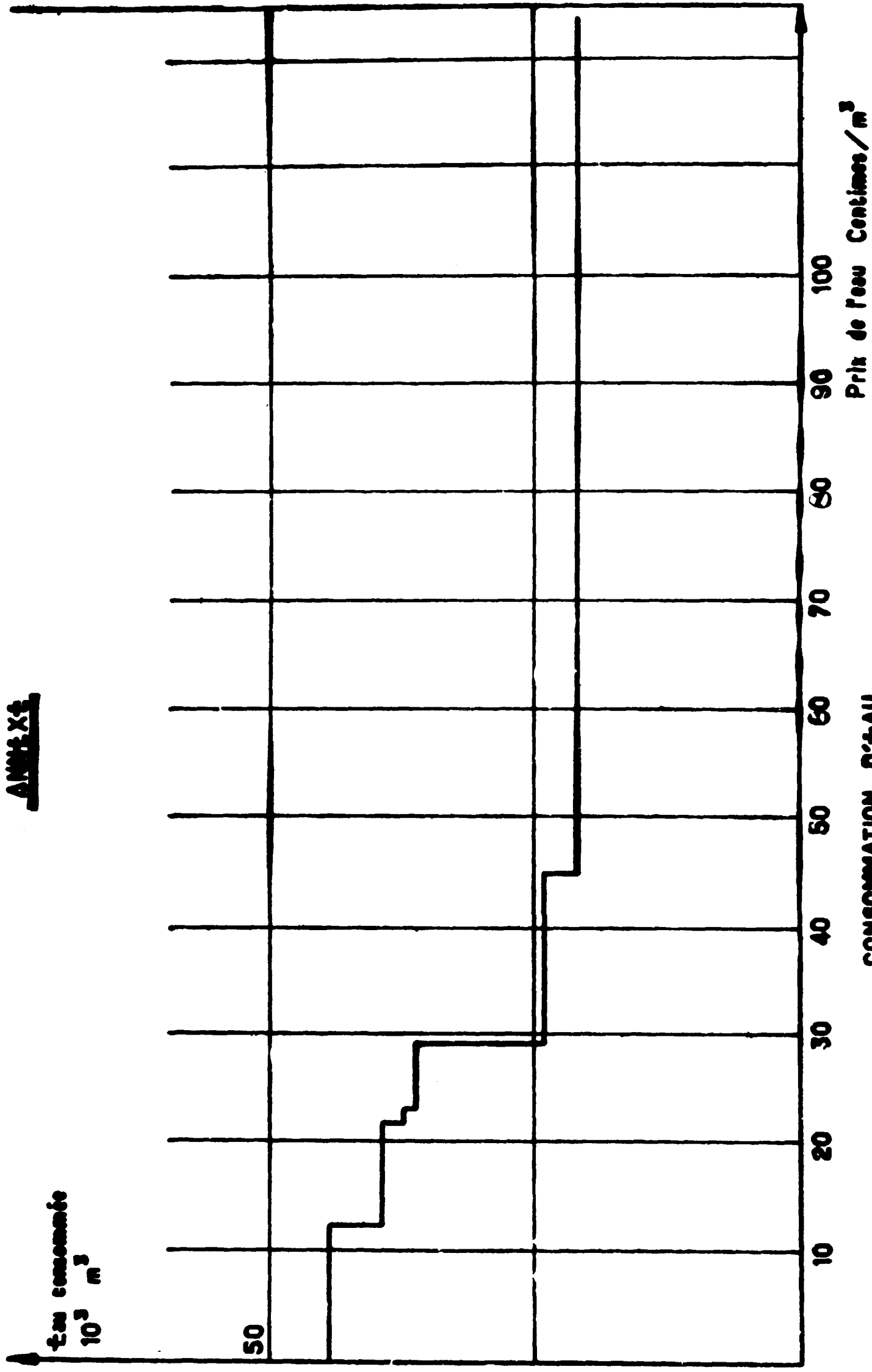


APPENDIX



VALUE OF WATER CONSUMED BY A 15 ha UNIT IN THE BASIN OF GARDANNE IN PROVENCE

ANNEXE X 4



CONSOMMATION D'EAU

VALEUR DE L'EAU CONSOMMÉE POUR UNE EXPLOITATION DE 10 ha DU BASSIN DE GARDANNE EN PROVENCE

FIN