INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE
FORAGE-PRODUCTION-GISEMENTS

SEMINAIRE DE RESERVOIR ENGINEERING 1957
(période du 17 au 20 Juin)

RELATIONS ENTRE LA TECHNIQUE ET L'ECONOMIE DANS LA PRODUCTION DU PETROLE

Principes généraux et éléments de base
Conférence et exercices

par J.PETITMENGIN
Ingénieur des Mines
Bureau de Recherches de Pétrole

Tirage : 202 exemplaires.

JUIN 1957

RELATIONS ENTRE LA TECHNIQUE ET L'ECONOMIE DANS LA PRODUCTION DU PETROLE

PRINCIPES GENERAUX ET ELEMENTS DE BASE

Depuis le début des recherches pétrolières en Zone Franc, l'essentiel de l'activité de cette nouvelle industrie a été consacré à l'exploration, où l'importance des phénomènes économiques est moins clairement apparente que lorsqu'il s'agit de production.

Sans doute est-il possible et souhaitable que les responsables d'un programme d'exploration, à tous les échelons, veillent à travailler au prix de revient minimum : que ce soit le géophysicien, chargé de la surveillance d'une équipe sismique, qui essaie, par exemple, d'améliorer le rendement mensuel en km de profil, de limiter au minimum les consommations d'explosifs ou de carburants, d'éviter la multiplication d'une main-d'oeuvre auxiliaire parfois excédentaire, ou l'ingénieur de forage chargé d'une sonde propre à sa société ou de celle d'un entrepreneur, il leur est possible d'agir, très efficacement, sur les composantes du coût global de la recherche; par contre, il est à peu près impossible, fut-ce à l'échelon Direction, de faire une prévision, même approximative, des résultats à attendre d'un programme d'exploration pure . La Géologie est une science trop complexe pour qu'aucune comparaison statistique permette d'estimer avec quelque vraisemblance les résultats à en attendre; la dimension d'un gisement est à peu près indépendante des efforts techniques et financiers nécessaires à sa découverte : qu'il contienne 100.000 ou 100 millions de tonnes, le mérite de l'équipe de techniciens ayant amené la sonde jusqu'à lui reste du même ordre. Tout au plus est-il possible d'estimer à grands traits le montant des dépenses au-delà duquel les chances de découverte de pétrole dans des conditions rentables s'estompent (1).

Par contre, dès qu'un champ est découvert, les conditions changent du tout au tout. La Science du Réservoir est en effet une science beaucoup plus exacte que la Géologie, au moins pétrolière. Dès que quelques forages ont délimité le gisement, il devient possible à l'ingénieur de prévoir, avec une précision qui croîtra avec la production, le comportement futur de l'exploitation en fonction du traitement subi par le champ. Tous ces termes peuvent être traduits en termes économiques; ce sont ces derniers qui, en définitive, détermineront le comportement du Conseil d'Administration de la Société exploitante à l'égard des propositions faites par les techniciens; aussi est-il indispensable pour ces derniers de saisir parfaitement les notions économiques de base qui interviennent dans ces jugements : c'est le but de cet entretien.

---

(1) R.BUTTIN : "Etude économique sur la recherche de pétrole en Afrique Noire et sa rentabilité" - La Revue Pétrolière . 1955 -

Le but de tout calcul économique est de déterminer les conditions d'emploi les meilleures du capital disponible (que ce soit sous son aspect monétaire ou physique : usines, outillage, voies de communication...). Toute entreprise, tout gouvernement digne de ce nom, visent à accroître le capital dont ils disposent, ce qui permettra à la collectivité d'actionnaires ou de citoyens qu'ils représentent d'accroître sa consommation, ou de réinvestir les plus-values, pour obtenir, à nouveau, un accroissement de son capital. Comme malheureusement, le capital disponible est toujours limité, il convient de faire un choix parmi les dépenses. Très généralement, les investissements choisis en premier seront ceux qui permettront la récupération la plus rapide et la multiplication la plus élevée du capital investi. Au contraire, les investissements ne permettant pas de récupérer le capital investi seront, le plus souvent, laissés pour compte.

La figure I représente, schématiquement, la vie financière d'un investissement : le temps est porté en abcisse, et en ordonnée les dépenses ou revenus cumulés; la pente de la courbe est donc égale à l'excès des revenus sur les dépenses par unité de temps. Partant d'une valeur négative égale aux investissements initiaux I, le revenu cumulé s'annule pour un temps appelé "pay-out" en langage économique anglo-saxon. Ce "pay-out" a une très grande importance pour la société exploitante : à partir de ce moment, la mise initiale est remboursée et les revenus ultérieurs correspondant à la création d'un capital nouveau, au bénéfice tiré de l'exécution du projet par la société.

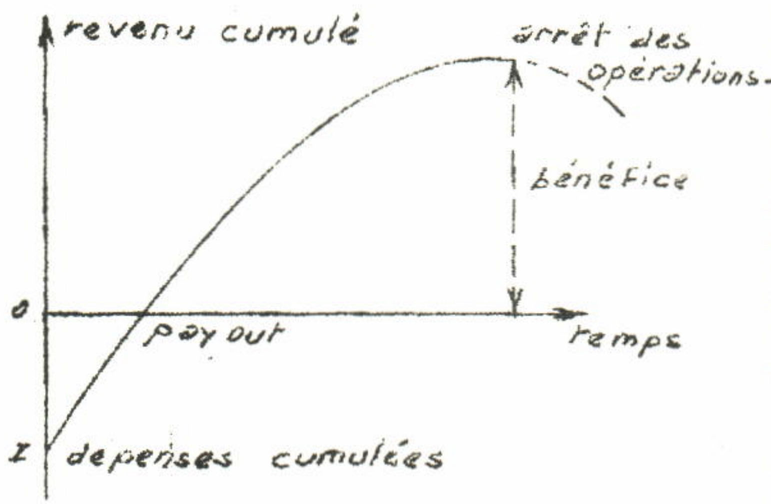


FIG. 1

Cette courbe met également en évidence l'intérêt qui s'attache à arrêter les travaux lorsque les revenus annuels ne remboursent plus les dépenses annuelles : le maximum du bénéfice cumulé est atteint lorsque la pente de la courbe s'annule; poursuivre les opérations au-delà correspondrait à un appauvrissement de la collectivité qu'il faut éviter.

Les différentes grandeurs caractéristiques de la courbe correspondant à chaque projet : investissement initial, revenus annuels, "pay-out", bénéfice final, permettent d'en définir avec précision l'intérêt économique; toutefois, il est indispensable d'apporter à ce schéma une première retouche; intuitivement, vous sentez qu'il n'est pas indifférent de disposer d'un capital donné immédiatement, dans un an ou dans cinq ans : sa valeur pour vous est différente.

Si vous disposez aujourd'hui de ce capital, vous pouvez l'investir et en tirer des revenus, ou, tout simplement, le placer dans une banque qui vous versera un taux d'intérêt : celà vous amène au concept de base de tout calcul économique, celui de la valeur actuelle d'un capital dont on doit disposer dans le futur.

Si i est le taux de l'intérêt du marché, et si vous disposez d'un capital C, la valeur de ce capital, si vous l'investissez et réinvestissez chaque année ses revenus, sera de :

$C\ (1 + i)$ l'an prochain

$C\ (1 + i)^2$ dans deux ans

$C\ (1 + i)^n$ dans n années.

Réciproquement, un capital C' disponible dans 1 an aura une valeur actuelle $\frac{C'}{1 + i}$ telle que si vous en placez le montant aujourd'hui, il régénère le capital C' au bout d'un an. Si C' n'est disponible que dans n années, sa valeur actuelle devient $\frac{C'}{(1 + i)^n}$

En termes financiers, nous venons d'escompter ou d'actualiser la capital C', l'escompte étant la différence entre la valeur stipulée et la valeur actuelle. L'opération inverse s'appelle la capitalisation. Ces opérations permettent de comparer la valeur de deux capitaux disponibles à des époques différentes; il apparaît clairement que la comparaison peut être faite à n'importe quelle époque sans modifier le rapport des valeurs actualisées : faire la comparaison dans p années au lieu de la faire à l'époque actuelle revient à multiplier les valeurs actualisées par $(1 + i)^p$; le rapport des valeurs actuelles des deux biens reste inchangé.

Nous avons parlé uniquement de capital jusqu'à présent : il est bien évident qu'on peut, de la même façon, calculer la valeur actuelle d'un revenu ou d'une dépense future.

C'est grâce à ce mécanisme d'actualisation qu'il devient possible de lier le capital au revenu : tout bien durable (que nous appelons ici capital) est en effet susceptible de fournir dans l'avenir une série de revenus $R_1, R_2 \ldots R_n$ et le bénéficiaire de ces revenus peut les céder à une autre personne en vendant le bien économique auquel ils sont attachés. Il en résulte que la valeur actuelle V d'un bien durable est, à un instant donné, égale à la somme des valeurs actuelles à cet instant de ses revenus futurs : c'est ce qu'on appelle la "Loi des valeurs actuelles":

$$V = \frac{R_1}{1 + i} + \frac{R_2}{(1 + i)^2} + \ldots\ldots + \frac{R_n}{(1 + i)^n}$$

Cette formule se généralise facilement au cas d'une opération présentant simultanément dépenses et revenus : il suffit de remplacer Ri par Ri - Di, différence entre revenus et dépenses correspondants à l'année i, d'où l'on déduit :

$$V = \sum \frac{R_n}{(1 + i)^n} - \sum \frac{D_n}{(1 + i)^n}$$

Si I est l'investissement initial nécessaire, le bénéfice B est égal à la différence entre la valeur actuelle des revenus futurs et le montant de l'investissement.

$$B = V - I = \frac{R_n}{(1 + i)^n} - \left[I + \frac{D_n}{(1 + i)^n} \right]$$

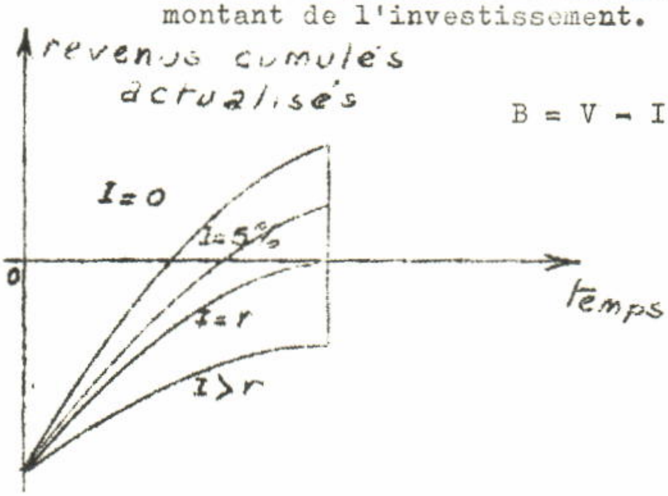


Figure 2

Cette relation se traduit graphiquement de la même manière que sur la figure précédente. Sur la figure 2, nous avons reproduit le graphique de la figure 1 (taux d'intérêt i = 0), et représenté les transformations successives de la courbe à taux d'intérêt croissant; nous voyons que le bénéfice décroît à mesure que croît le taux d'intérêt : l'influence des investissements initiaux est inchangée, alors que la valeur actuelle des revenus futurs décroît d'autant plus vite qu'ils sont plus lointains.

La valeur du taux de l'intérêt annulant le bénéfice (ou profit) est appelée taux de rentabilité (r); le pay-out est alors égal à la vie de l'opération; le taux de rentabilité est égal au taux de l'intérêt que serait capable de payer l'opération projetée sans faire aucun bénéfice.

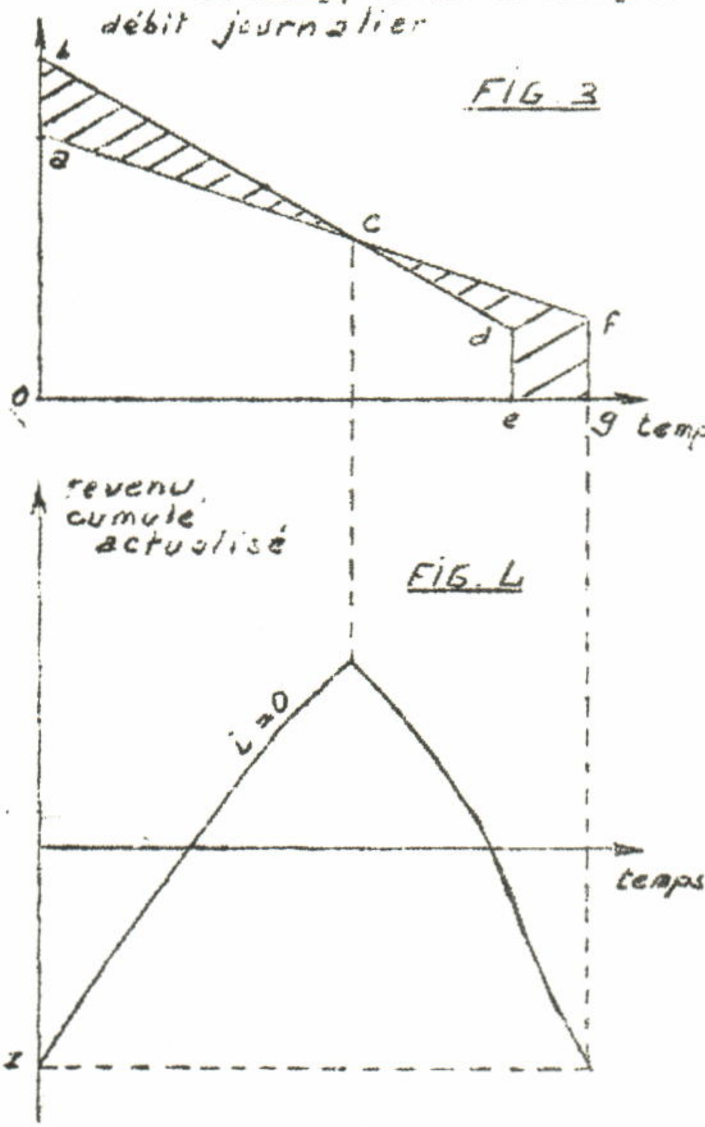
Lorsque le taux de rentabilité est supérieur au taux d'intérêt en vigueur, (nous verrons plus loin les problèmes posés par le choix du taux de l'intérêt dans les calculs pétroliers), la réalisation de l'investissement considéré amène une plus-value sur le capital : le projet est rentable; si, au contraire le taux de rentabilité est inférieur au taux d'intérêt du marché, le bénéfice à attendre de l'opération est négatif; l'investissement considéré n'est pas avantageux (il vaut mieux placer à la banque le capital correspondant ; la société gagnera $i > r$).

Voilà comment TURGOT décrit ce rôle de l'intérêt :

"On peut regarder le taux de l'intérêt comme une sorte de niveau "au-dessous duquel toute culture, toute industrie, tout commerce cessent. "C'est comme une mer répandue sur une vaste contrée; les sommets des "montagnes s'élèvent au-dessus des eaux et forment des îles fertiles "et cultivées; si cette vien à s'écouler, à mesure qu'elle descend, les "terrains en pente, puis la plaine et les vallées paraissent et se couvrent "de productions de toute espèce. Il suffit que l'eau monte ou descende "d'un pied pour inonder ou pour rendre à la culture des plages immenses."

Ce qui, dans notre langage, revient à dire que dans une économite saine seules sont réalisées les opérations de rentabilité supérieure au taux de l'intérêt. Toutes celles ayant une rentabilité inférieure ne sont pas exécutées.

La notion de rentabilité est relativement maniable lorsqu'il s'agit de comparer l'intérêt économique de deux projets techniquement bien définis. En matière d'exploitation pétrolière, par contre, les paramètres techniques varient souvent de façon continue; la maille adoptée pour les puits de développement en est un exemple. Devrons-nous calculer le taux de rentabilité pour chacune de ces mailles ? Ce serait un travail par trop laborieux. En outre, on est souvént amené, au cours de l'éxécution d'un projet, à modifier le programme technique initial : la réduction de la maille de développement, pour accélérer la production du champ, en est un exemple.

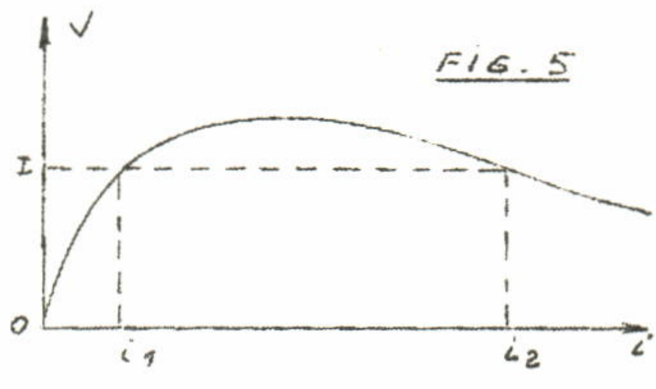


A taux de récupération égal, la courbe du débit du champ en fonction du temps est modifiée de telle façon que la production cumulée finale reste constante.

Les figures 3 et 4 retracent l'histoire technique et l'histoire financière du projet d'accélération envisagé.

Alors que pour les investissements nouveaux il n'est plus économiquement rentable de continuer l'exploitation au-delà du maximum du revenu cumulé, il est impossible dans le cas considéré de ne pas prendre en considération le manque à gagner final, qui apparaît figure 4, venant compenser l'huile supplémentaire produite au début.

Si l'on cherche alors le taux de rentabilité du projet, on s'aperçoit que l'équation n'a plus une solution unique, mais plusieurs solutions : la figure 5 représente la variation de la valeur actuelle de la production supplémentaire escomptée, en fonction du taux de l'intérêt : le taux de rentabilité est obtenu lorsque V = I, ce qui donne ici deux solutions i1 et i2.



Ces singularités rendent préférable de caractériser chaque programme technique par le montant total actualisé des investissements nécessaires I, le bénéfice actualisé correspondant B (souvent exprimé en pourcentages des investissements), et le pay-out. La variation corrélative de B et I pour un projet en fonction du programme technique peut être traduite par une courbe (figure 6) permettant, en outre, de résoudre le problème du choix optimum entre différents investissements.

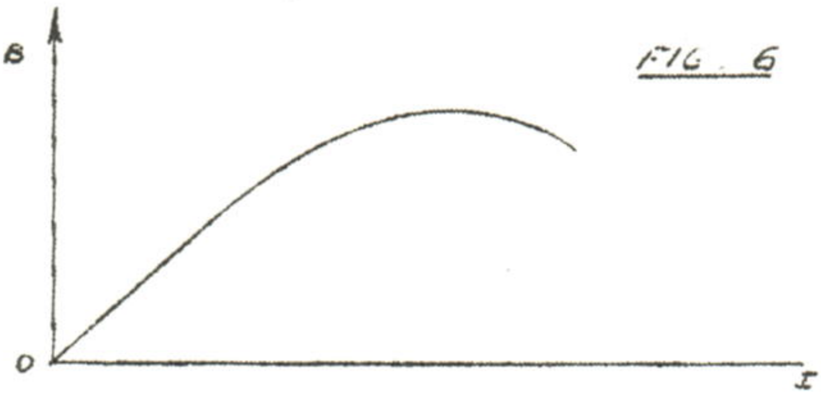


FIG. 6

Si I est le capital disponible à investir dans différents projets 1, 2... n, et

$$B_1 = f\ (I_1)$$
$$B_2 = f\ (I_2)$$
$$Bn = f\ (In)$$

les bénéfices à attendre de chaque projet en fonction de l'investissement correspondant, l'objectif de la société est de rendre maximum :

$$B = B_1 + B_2 + \dots + B_n$$

compte tenu de : $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

On démontre facilement (théorème des multiplicateurs de Lagrange) que les n - 1 relations supplémentaires nécessaires pour définir I_1, I_2, ... I_n sont :

$$\frac{d\,B\,1}{d\,I\,1} = \frac{d\,B\,2}{d\,I\,2} = \dots\dots = \frac{d\,B\,n}{d\,I\,n}$$

telles que soient égaux les bénéfices marginaux de tous les projets. Ceux-ci sont évidemment positifs (et non nuls), sinon il vaudrait mieux thésauriser : l'investissement optimum est toujours en-deçà de celui donnant le bénéfice maximum.

TAUX D'INTERET CONTINU ET DISCONTINU :

Actualisation et rentabilité constituent les bases essentielles des calculs économiques qui viennent se superposer à nos problèmes techniques.

Toutefois, la manipulation des intérêts composés sous la forme exposée plus haut est extrêmement mal commode, aussi substitue-t-on souvent dans les calculs, à l'intérêt discontinu i, un taux d'intérêt continu j tel que :

$$e^{j} = 1 + i$$

La formule d'actualisation devient alors, pour un franc disponible dans t années :

$$\frac{1}{(1 + i)^{t}} = e^{-jt}$$

et l'on profite de la maniabilité mathématique plus grande des exponentielles.

On vérifie facilement que j est légèrement inférieur à i, et égal, en première approximation, à :

$$i - \frac{i^2}{2}$$

Dans le cas des gisements de pétrole, où les statistiques de production sont bien souvent mensuelles, il est commode de prendre comme unité de temps le mois; le taux d'intérêt j devient alors :

$$\frac{1}{(1 + i)^{\frac{t}{12}}} = e^{-j't} \qquad \text{soit } j' = \frac{1}{12} \log (1 + i)$$

EXEMPLE D'ACTUALISATION :

Soit un gisement de Réserves R, dont la production obéit à la Loi :

$$Q = Q_o \, e^{-\frac{Q_o}{R} t} \quad \text{(déclin logarithmique)}$$

la production cumulée s'écrit :

$$C = \int Q dt = R \left[1 - e^{-\frac{Q_o}{R} t} \right] = R \left[1 - \frac{Q}{Q_o} \right]$$

Pour un temps t infini, on retrouve : C = R; les réserves du gisement sont épuisées.

Si nous supposons pour l'huile des frais d'extraction constante, la valeur actuelle de la production cumulée C du gisement égale à celle d'une quantité d'huile (exprimée par le symbole (C)) :

$$(C) = \int Qe^{-jt} dt = Qo \int e^{-\left(\frac{Qo}{R} + j\right)t} dt$$

qui, en posant :

$$y = \frac{Qo}{R} + j \quad \left[= \frac{Qo}{R} + \frac{1}{12} \log (1 + i) \text{ si le temps est compté en mois} \right]$$

devient :

$$(C) = \frac{Qo}{y} (1 - e^{-yt}).$$

La valeur actuelle des réserves totales équivaut donc à celle d'une quantité d'huile :

$$(R) = R \frac{1}{1 + \frac{R}{Qo} j}$$

Un point important qu'il convient de souligner dans les calculs d'actualisation, est la nécessité de faire figurer, autant que possible, dépenses et recettes au moment exact de leur comptabilisation, et d'éviter, dans toute la mesure du possible, l'abonnement de celles-ci.

Supposons, par exemple, que la production du gisement examiné plus haut nécessite un investissement de valeur actualisée I (forages réseaux de collectes, installations de séparation, etc...) et que v soit l'élément de valorisation de l'huile départ champ, défini comme la différence :

prix de vente - frais généraux - <u>frais directs de production</u> - impôts.

Le bénéfice à attendre de l'exploitation du gisement est alors :

$$B = (R)v - I = \frac{Rv}{1 + \frac{R}{Q_o} j} - I$$

Si, dans **l'élément** de valorisation, nous avions fait apparaître l'amortissement des installations à côté des dépenses directes, ce qui revient à remplacer :

$$v \text{ par } v' = v - \frac{I}{R}$$

le bénéfice calculé deviendrait :

$$B' = (R)v' = (R)v - I\,\frac{(R)}{R} > B \quad \text{puisque } (R) < R$$

Cette différence s'explique facilement puisqu'au lieu d'un investissement I actualisé à l'instant de référence, nous substituons un investissement réparti dans le temps, donc de valeur actuelle moindre (2).

Il faut se rappeler que la notion d'amortissement est avant tout <u>une notion fiscale</u> :

Si la Société était obligée de faire figurer sur son compte d'exploitation ses investissements annuels, elle serait, fiscalement, fortement déficitaire lorsqu'elle investirait; dès l'achèvement de l'investissement, ses bénéfices deviendraient considérables, d'où une taxation élevée : la possibilité d'amortir les investissements évite ces alternances cycliques de pertes et bénéfices, et régularise ainsi la taxation de la société.

La notion d'amortissement est également utile dans les calculs de prix de revient, si le matériel est assuré d'une utilisation uniforme dans le temps, et fournit un service plus ou moins identique à lui-même (matériel de forage par exemple). Dans le cas des gisements pétroliers, où la où la variation des productions unitaires de puits est considérable, tant dans le temps que dans l'espace, il faudrait substituer aux règles d'amortissements proportionnels des règles infiniment plus complexes, et variables dans chaque cas : il est de beaucoup préférable d'actualiser chaque dépense au lieu de la répartir dans le temps.

---

(2) L'amortissement reste possible si l'on impute à chaque m3 produit non pas $\frac{I}{R}$, mais $\frac{(I)}{(R)}$, rapport des <u>investissements actualisés aux réserves actualisées</u> : ou vérifier facilement que le bénéfice reste inchangé :

$$B = (R)\,v - I = (R)\left(v - \frac{I}{(R)}\right)$$

CHOIX DU TAUX DE L'INTERET DANS LES CALCULS D'ACTUALISATION.

Deux tendances principales se rencontrent sur ce problème complexe :

- alignement sur les taux bancaires (en France par exemple : 4,5 % à moyen terme, 8% à long termeà, en y ajoutant une prime de risque variable tenant compte des aléas politiques ou techniques du projet : le mécanisme d'escompte vise alors à tenir compte du coût réle du capital investi;

- alignement sur un taux correspondant au rendement moyen des investissements dans la branche considérée : aux U.S.A. par exemple, la rentabilité de la recherche et de l'exploitation du pétrole est en moyenne, de l'ordre de 10 à 12% (3), très nettement supérieure au taux d'intérêt bancaire local. Ce taux élevé lui permet de jouer plainement son rôle de sélection entre les investissements : tout argent investi dans un projet déficitaire avec ce taux pourrait en effet, trouver ailleurs une utilisation meilleure; la part considérable de l'autofinancement dans les investissements des groupes pétroliers est un autre argument dans ce sens.

Comme nos travaux n'en sont pas ce stade, il est logique de nous aligner pour l'instant sur la première tendance; la valeur élevée du taux de l'intérêt du marché bancaire français estompe d'ailleurs un peu de cette discussion.

Rueil, Juin 1957

J.PETITMENGIN

---

(3) G.LUGOL - Le prix du pétrole brut - Revue de l'I.F.P. vol.X n°10, Octobre 1955.

R.GRANIER DE LILLIAC et G.LUGOL - "Note sur le prix de revient dans la recherche et dans l'exploitation du pétrole aux U.S.A." - Revue de l'I.F.P. Vol.VII - 1952