

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

RECHERCHE D'UNE GESTION OPTIMALE
DU SKIP DE L'OUENZA
QUARTIER DE CHAGOURA

PROJET POUR LE DIPLOME D'INGENIEUR

PRESENTE ET SOUTENU PAR

- CHERGUI Ali
- KHIRODDINE Abel-Kamel
- SIDI BOUMEDINE Abdelkrim

à la session de Juin 1973

AVANT - PROPOS

Nos remerciements vont à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Notre profonde gratitude à Monsieur D. TINCELIN pour son aide exceptionnelle.

Notre reconnaissance va aux professeurs de l'Ecole Nationale Polytechnique ainsi qu'à la SONAREM qui a bien voulu nous confier cette étude, malgré notre inexpérience et en particulier à

- M. J. BUDIN, Chef du Bureau des Etudes Economiques
- M. BENSLIMANE, Ingénieur Divisionnaire de la Mine d'Ouenza
- M. MEKAOUI, Ingénieur d'Exploitation de Chagoura.

S O M M A I R E

INTRODUCTION

	<u>PAGES</u>
A. <u>POSITION DU PROBLEME</u>	5
A.1. GENERALITES	
A.2. SUJET DE L'ETUDE	8
A.2.1. Sujet proposé	
A.2.2. Analyse du problème proposé	11
A.2.3. Formulation du problème.	
B. <u>RECHERCHE D'UNE METHODE DE RESOLUTION</u>	19
B.1. LES DIFFERENTES-METHODES DE RESOLUTION	
B.1.1. Les différentes méthodes de recherche et d'organisation	
B.1.2. Principes des méthodes de simulation	29
B.1.3. Tirage au sort des valeurs aléatoires	32
B.2. CHOIX DE LA METHODE DE RESOLUTION	38
B.2.1. Les méthodes empiriques	
B.2.2. Modèle mathématique	40
B.2.3. Conclusion	42

.../...

C.	<u>POLITIQUES PARAMETRES TESTES</u>	43
C.1.	PROBLEME DES POLITIQUES	
C.2.	PROBLEME DES DISTANCES	51
C.3.	PROBLEME DES ENGINES	
D.	<u>MISE EN OEUVRE DE LA SIMULATION</u>	52
D.1.	LE PROCESSUS D'EXPLOITATION SIMULE	
D.1.1.	Options retenues	
D.1.2.	Cycle des opérations	54
D.2.	ELABORATION DU MODELE DE SIMULATION	55
D.2.1.	Généralités	
D.2.2.	Algorithme	
D.2.3.	Présentation du programme de simulation	56
D.2.3.1.	Organigramme	
D.2.3.2.	Le programme de simulation.	57

	<u>PAGES</u>
D.3.	<u>LIAISON ENTRE PROGRAMME PRINCIPAL ET LES SOUS-PROGRAMMES ET LEUR FONCTION</u> 58
D.3.1.	Fonction du Programme Principal 59
D.3.2.	Sous Programme TABLE
D.3.3.	Sous Programme PANNE
D.3.4.	Sous Programme RANDON
D.3.5.	Sous Programme ADIT 60
D.3.6.	Sous Programme ECRIT
D.3.7.	Sous Programme DEPRI
D.3.8.	Sous Programme CYCLE
D.4.	<u>DONNEES</u> 61
D.4.1.	Collecte des données
D.4.2.	Traitement des données
D.4.3.	Tables introduites dans le programme de Simulation 63
D.5.	Utilisation du modèle de simulation 70
D.6.	Calcul du coût d'exploitation 76
D.7.	Durée minimum de la simulation 79
E.	<u>LES RESULTATS DES TESTS DE SIMULATION ET LEUR ANALYSE</u> 80
E.1.	Le résultat
E.2.	Analyse des résultats 81
F.	<u>CONCLUSIONS GENERALES DE L'ETUDE</u> 89
F.1.	Les conclusions
F.2.	Proposition d'Extension de l'Etude

INTRODUCTION

En raison de la forte pente du quartier de Chagoura qui en fait une zone d'accès difficile, a été installé un SKIP, constitué d'une benne de 50 tonnes de charge utile roulant sur une voie ferrée à flanc de montagne et dans laquelle des camions viennent y déverser leur contenu.

Ainsi, notre étude commence par une description sommaire de la mine et du SKIP (partie A.1.), puis d'un rappel du problème et son analyse (partie A.2.).

Le chapitre B nous donne les méthodes possibles de résolution du problème et celle qu'on a choisie, c'est-à-dire la simulation.

Les paramètres et les politiques envisagés ont été décrits dans le chapitre C et la mise en oeuvre proprement dite de la simulation a fait l'objet du chapitre D.

Les tables de répartition, leurs graphes, les résultats ainsi que la liste des politiques etc. ont été mis en Annexes de façon à ne pas alourdir le rapport.

La partie E fait l'analyse des résultats et enfin, la conclusion générale de l'Etude a été formulée dans la dernière partie, c'est-à-dire au chapitre F.

A. POSITION DU PROBLEME

A.1. GENERALITES

A.1.1. Présentation de l'Ouenza

Le gîte important de l'Ouenza se trouve en territoire Algérien près de la frontière Tunisienne à peu près au milieu du triangle ayant pour sommets les villes de Souk-Ahras, du Kef et de Tébessa.

Les minéralisations en fer de l'Ouenza sont partie intégrante d'une province de fer s'étendant du Khanguet (région de Tébessa) au gisement tunisien de Djérissa en passant par les exploitations du Djebel Bou-Khadra ainsi que les importants indices de minéralisation des Djebel Harraba et Hameïma en particulier.

Le gîte est essentiellement constitué par un amas de sidérose épigénisée en surface en divers oxydes de fer. La sidérose s'est substituée à des calcaires massifs aptiens de forme générale lenticulaire.

Le minerai est localisé préférentiellement dans le calcaire à grain fin. Il est donc dû à un remplacement des calcaires aptiens par de la sidérose accompagnée de pyrite. Quant au mécanisme lui-même de la substitution, il est très difficile de s'en faire une idée.

A.1.2. Description de Chagoura

Le chagoura est un massif calcaire compris entre 800 et 1.100 m d'altitude, qui s'étend sur environ 750 m de long de l'Ene du pic de l'Ouenza. Il domine le Koudiat Ezzerga au Sud et le quartier minier de Sainte Barbe au Nord-Est.

A Chagoura Sud les affleurements commencent vers le niveau 805 et s'élèvent jusqu'à la côte 1.090 m environ. Quant au Chagoura Nord, ils débutent vers le niveau 950 environ pour gagner en montant la côte du Djebel. Dans son ensemble on peut dire qu'il existe une direction privilégiée de la minéralisation qui semble être la direction des bancs récifaux, mais il n'y a pas de régularité ni dans la puissance ni dans l'extension des veines.

Une estimation récente des réserves à Chagoura à la suite de la nouvelle découverte a donné la répartition suivante en 10^3 T :

MINERAI	NORMAL	BRUN	PAUVRE	TOTAL
Ciel ouvert	20.000	5.000		25.000
Souterrrain	5.000	2.300	2.000	9.300
TOTAL	25.000	7.300	2.000	34.300

Les réserves totales sont de 34.300.000 T dont :
25.000.000 T à ciel ouvert
9.300.000 T en souterrain.

Pour ce qui est du minerai riche à Chagoura on compte :

- en carrière, parmi les 20.000.000 T de minerai normal : nous avons 3.000.000 T de minerai très riche : 58 à 60 % de Fe
- en souterrrain les 5.000.000 T de la catégorie normale sont du minerai aussi très riche.

.../...

Soit au total : 8.000.000 T de minerai très riche.

L'exploitation à Chagoura, est à ciel ouvert de type classique ; avec la seule différence qu'elle se fait sur le flanc du massif. Les gradins ont une hauteur variable de 12 à 15 m. L'abattage se fait par trous de mines verticaux chargés d'explosifs (N31, 1C etc.... couramment utilisés à Ouenza). Le chargement et le roulage se font par pelles sur camions Euclid R35, des chantiers aux recettes dans un premier temps, puis dans un second temps le minerai est acheminé par le Skip jusqu'au concasseur primaire.

A.1.3. Description générale de l'installation

Le Skip de l'Ouenza est un appareil essentiellement constitué par une benne de 50 tonnes de charge utile roulant sur une voie ferrée posée à flanc de montagne suivant une pente variant entre 38 et 48 %.

Il a été construit en raison de la forte pente de Chagoura, qui fait de ce quartier une zone d'accès difficile.

L'utilisation de camions, de téléphérique, de convoyeur à bande, ou à raclettes, n'est pas possible soit techniquement, soit économiquement.

Le Skip achemine le minerai des différents niveaux, à la trémie du concasseur primaire situé au niveau 803 m. Pour cela, il existe aux 4 niveaux (965, 935, 911, 880 m) de la course du Skip: 4 points de chargement appelés recettes ; qui alimentent la benne.

Ces recettes sont constituées par un pont de circulation des camions avec une ouverture placée au-dessus du point de chargement de la benne. Autour de cette ouverture, une aire d'évolution est prévue pour permettre la mise en position de déversement de deux camions.

Le Skip est surveillé d'une salle de commande se trouvant près du concasseur, par un opérateur.

Les caractéristiques techniques du Skip sont les suivantes :

- Poids de la benne à vide	34 tonnes
- Poids de la charge	50 tonnes
- Volume utile	36 m ³
- Poids du contrepoids	57 tonnes
- Vitesse de marche	4,5 m/s

A.2. SUJET DE L'ETUDE

Le Skip de Chagoura constituerait un goulet d'étranglement ; nous sommes allés sur place pour voir de quelle façon ce skip est devenu une source de problèmes pour le développement futur du quartier.

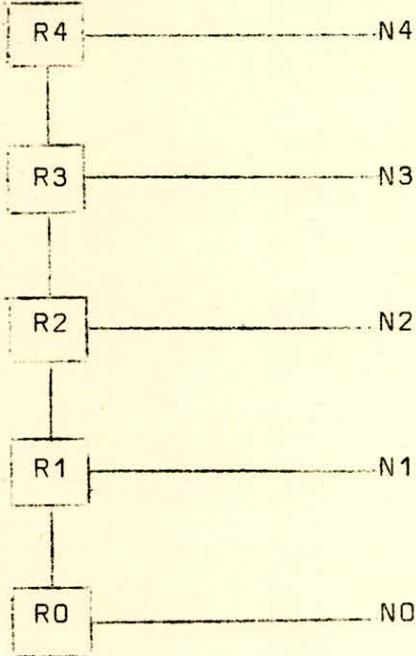
A.2.1. Le sujet proposé

Le Skip est équipé de 4 recettes (R1 à R4). De plus, les camions peuvent décharger directement au concasseur qui devient donc une recette supplémentaire.

A chaque recette R_i est associé un niveau N_i. Chaque niveau comprend un ensemble de gradins. Les camions qui transportent le minerai d'un gradin de niveau N_i, ne peuvent, pour des considérations techniques, se décharger qu'à la recette R_i correspondante.

.../...

Schématiquement on a donc ceci :



A l'heure actuelle, il n'existe que des chantiers de niveau N4. Donc, seule la recette R4 est ouverte. Des camions amènent donc le minerai de N4 et le déchargent à R4.

Le nombre optimal de camions à affecter aux différents gradins est déterminé de façon empirique par les Ingénieurs de la mine.

Mais, il arrivera un moment où les autres niveaux vont entrer en activité et des camions vont se présenter à des recettes différentes, avec 25 T de charge utile chacun et vont vouloir tous être déchargés en même temps.

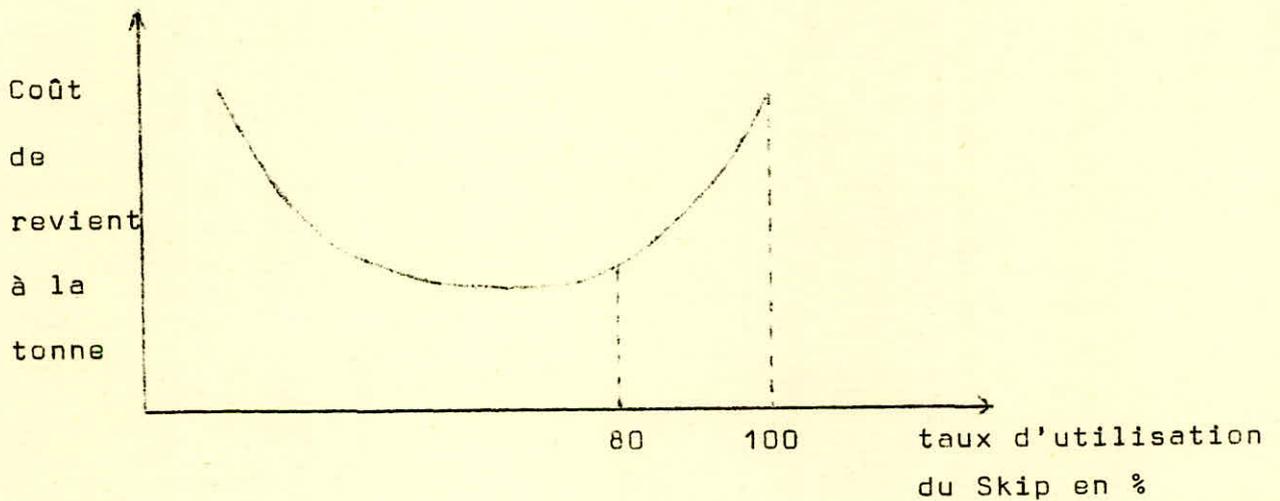
Une telle situation requerra de faire du Skip un frein au développement harmonieux du quartier.

Le but de l'étude est de déterminer le meilleur taux d'utilisation du Skip permettant de fixer un rythme d'exploitation suffisamment grand, compatible avec un coût à la tonne tolérable

.../...

et ceci, en définissant la politique d'exploitation adéquate qui puisse, en outre, satisfaire l'exigence d'une teneur moyenne imposée.

Concrètement, il s'agirait de calculer les coûts de revient à la tonne rendue au concasseur pour différents taux d'utilisation du Skip (70 % , 80 % , 90 % , etc.... par exemple) afin de construire le type de courbe ci-après :



Puis, dans une deuxième phase, le problème consistera à déterminer quel est le point le plus favorable de cette courbe sachant qu'un rythme minimal d'exploitation doit être réalisé.

Le calcul est en fait, une recherche du bénéfice actualisé minimal.

A.2.2. Analyse du problème proposé

A.2.2.1. Analyse au niveau du gradin

On supposera que la pelle a toujours un tas disponible devant elle du fait que la foration se fait en même temps que le chargement et que le tir se fait durant les changements de poste. Par conséquent, nous pouvons dire que le tir et la foration n'ont aucune influence sur le transport du minerai. Les seuls éléments qui perturbent le transport seront les déplacements de la pelle de tas à tas.

A cette pelle arrivent les camions affectés au gradin et qui ont déchargé à la recette correspondante. Le temps de déchargement d'un camion dépendra du type de pelle et du type de camion.

S'il y a trop de camions affectés à cette pelle, il y aura formation d'une file d'attente au niveau du gradin.

? { Les pelles coûtant très cher et pouvant en outre se gêner mutuellement, on a affecté une pelle par gradin.

A.2.2.2. Analyse au niveau de la recette

a/- Association 1 Recette - 1 Gradin

La durée du cycle d'un camion dépendra :

- du type de pelle auquel ce camion a été affecté ;
- du type des camions affectés au gradin ;
- de la distance entre le gradin et la recette ;

- du nombre de camions affectés au gradin ;
- de l'entretien, des pannes, etc... ;
- de divers phénomènes aléatoires.

Suivant l'importance de ces divers éléments, il y aura formation de files d'attente plus ou moins longues, non seulement au niveau du gradin, mais aussi au niveau de la recette.

b/- Association 1 Recette - plusieurs gradins

Les camions affectés aux différents gradins ouverts et ayant terminés leurs cycles, vont tous se présenter à la recette pour être déchargés. Les files qui se formeront à la recette et aux différents gradins vont être fonction, à ce stade ;

- du type de pelles affectées aux différents gradins ;
- des distances aux différents gradins ;
- du type de camions ;
- du temps de déplacement de tas à tas ;
- du nombre de camions et leur mode de répartition entre les différents gradins ;
- de l'entretien, des pannes des engins, etc... ;
- de divers phénomènes aléatoires.

A.2.2.3. Analyse au niveau du Skip

Comme l'opérateur peut diriger la benne du poste de commande vers n'importe quelle recette, on va rechercher des règles de gestion permettant de rentabiliser l'installation.

Il existe différentes façons de procéder . On peut faire amener la benne à la recette :

- la plus basse ;
- la plus haute ;
- où existe la file la plus longue, ect...

Chacune de ces façons de procéder est appelée politique de gestion du Skip.

A ce stade déjà, surgit un problème :

- Faut-il amener le maximum de minerai au concasseur en essayant de minimiser les coûts et en considérant le Skip comme une entité externe à l'exploitation ?
- Faut-il faire le meme travail que ci-dessus mais en intégrant le Skip dans le processus d'exploitation .

La première démarche nous fera prendre la politique qui consiste à aller à la recette la plus basse. Ceci va favoriser les recettes les plus basses au détriment des autres ; ce qui créera un déséquilibre dans l'ensemble du quartier. Et c'est les Ingénieurs qui devront se plier à la politique du Skip alors que le contraire doit se produire.

La seconde démarche, au contraire, fait du Skip un instrument au service de la mine. C'est celle-ci qu'on prendra.

La gestion du Skip va donc s'insérer dans une étude globale du processus de transport et non être considérée isolément.

Le Skip se présente donc, comme les camions, comme un moyen de transport par lequel le minerai doit être acheminé, sous des contraintes données, vers le concasseur.

Le Skip possède une benne de 50 T de charge utile qui peut s'arrêter à toutes les recettes.

A chaque recette Ri, 2 camions de 25 T chacun, peuvent décharger leur contenu simultanément.

Mais, si la benne ne vient pas assez vite à une recette donnée Ri, il se formera à celle-ci une file d'attente plus ou moins longue suivant la fréquence d'arrivée des camions.

Si par contre, c'est la benne qui attend que des camions arrivent on dira que le Skip est sous-utilisé.

Nous sommes donc confrontés, au niveau de la recette, à un problème de file d'attente.

Les services rendus par le Skip, au niveau de la recette, vont donc dépendre :

- de la politique de gestion employée définissant la façon dont les recettes sont prises en compte au fur et à mesure de l'appel de la benne ;
- de l'entretien, panne, etc... du Skip ;
- des temps de déplacement à vide et à plein de la benne ;
- de l'entretien, panne, etc. de tous les engins dont l'arrêt empêche la marche du skip : bande, concasseur, etc.

A.2.2.4. Analyse au niveau du quartier

Nous voyons donc la multitude de problèmes qui se posent à nous en réalité : files d'attente au niveau des pelles des différents gradins ouverts aux différentes recettes, problème d'organisation du skip, problème d'affectation des pelles et des camions, etc.

En outre, chaque perturbation élémentaire qui surgit au skip, à une recette ou à un gradin quelconque, se répercutera sur tous les événements qui se déroulent en un autre gradin de la même recette ou d'une autre recette, et même sur la gestion du Skip.

Ceci nous a donc conduit à étudier le processus de transport du minerai dans son ensemble, sans classer les différents événements sous des rubriques distinctes ; ce qui ne serait pas conforme à la complexité du réel.

Formulation de l'étude

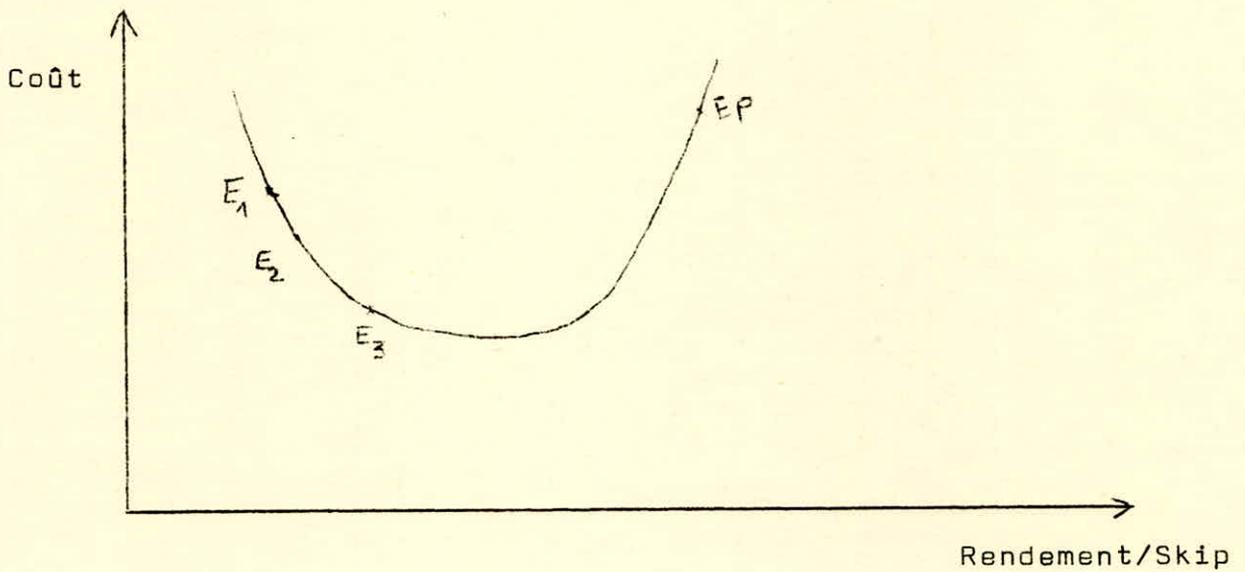
Suivant l'état d'avancement des gradins et surtout la méthode d'exploitation établie par les ingénieurs de la mine, on se trouvera confronté à une situation géométrique donnée.

Par exemple, les ingénieurs décident, le 1er Mars 1980, d'ouvrir 3 gradins, un gradin par recette et chacun d'eux distant respectivement de 1.400 m , 300 m, 600 m de la recette correspondante.

A ce stade, le problème qui se pose aux ingénieurs est le suivant : quelle est l'affectation de camions et de pelles et la politique de gestion du Skip qui permettent de fixer un rythme d'exploitation suffisamment grand, compatible avec un coût à la tonne tolérable ?

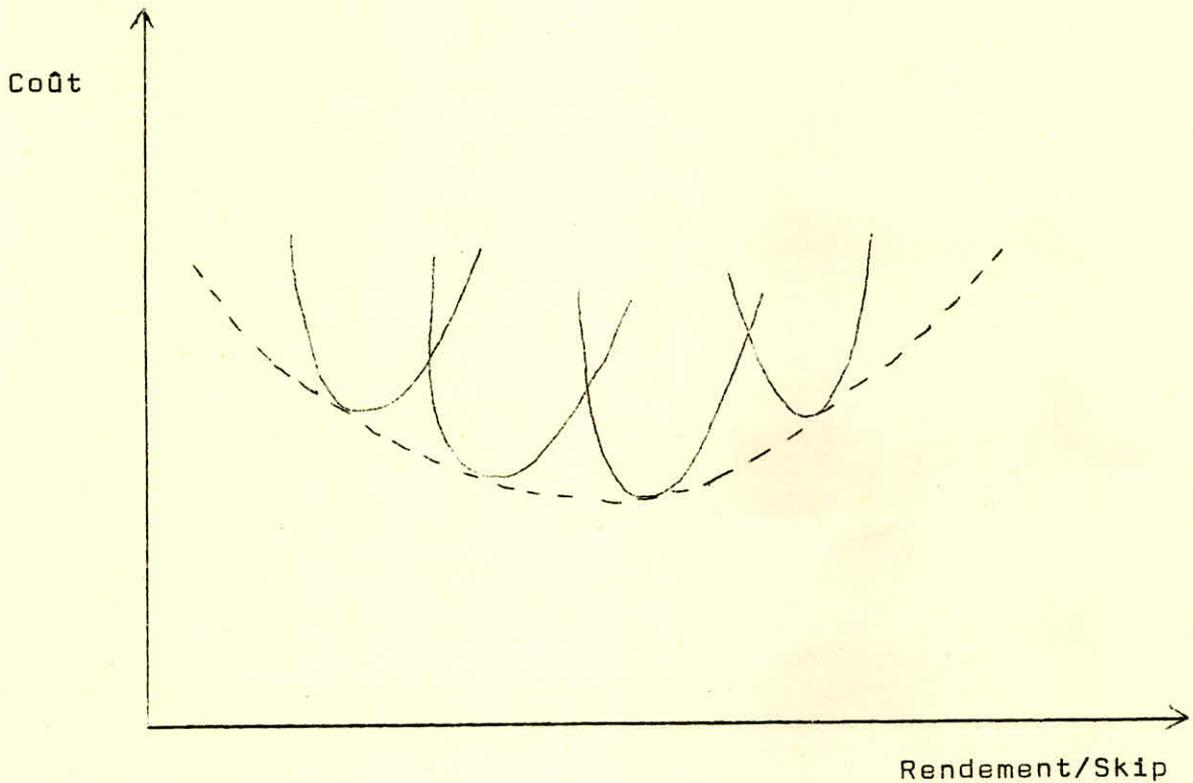
Comme on a deux paramètres : les équipements (1) et la politique de gestion, on va fixer un des deux paramètres (par exemple la politique) et, en faisant varier les équipements, déterminer le coût de revient à la tonne au concasseur en fonction du rendement du skip.

On aura la courbe suivante pour la politique P1 par exemple



(1) On appellera équipement, une organisation bien déterminée d'un chantier, résultant du nombre d'engins, de leur mode d'affectation et du choix de gradins ouverts.

Et, en faisant varier la politique de gestion du Skip, on obtient une série de courbes dont on tracera la courbe enveloppe (bien que celle-ci n'ait qu'une signification théorique)



Ensuite, on se placera au point réalisable le plus proche du point le plus favorable de la courbe, sachant que l'on doit dépasser un certain rythme d'exploitation fixé à l'avance.

Ce point est déterminé, d'une façon générale, soit par un calcul des dépenses actualisées, soit par considération d'autres facteurs externes (politique gouvernementale, etc...).

Une fois ce point fixé, on choisira les équipements et la politique qui lui correspondent.

...../....

On voit bien que le problème posé n'admet pas qu'une seule solution.

Etant donné le nombre de recettes et de gradins ouverts, leurs distances aux recettes, leur répartition géométrique etc.. , on doit, dans chacun des cas, exécuter les calculs ci-dessus.

Nous nous proposons donc, au lieu de résoudre un problème particulier, de fournir une méthode ou un modèle permettant d'obtenir les résultats suivant la situation devant laquelle on se trouve placé.

L'étude donc, qui avait un objectif donné, en a tout d'un coup plusieurs et finalement va fournir un manuel de travail permettant aux exploitants d'envisager des solutions nouvelles d'équipements, de gestion et de méthode d'exploitation.

On signale en outre, que d'autres facteurs imposés au début de l'étude, ont été soit écartés , soit simplifiés.

On voudrait, par exemple, que l'on s'arrange pour que le minerai ait une certaine teneur à son arrivée au concasseur.

Comme cette teneur est variable suivant les gradins ouverts, elle dépendra donc du planning d'exploitation élaboré par les ingénieurs. Le problème de teneur devient donc un problème de gradins ouverts. Nous ne le traiterons pas.

Nous n'établirons pas un meilleur schéma de développement du quartier pour la totalité de sa durée de vie, compte-tenu des remarques que nous avons formulées. Mais, nous prendrons quelques phases de ce processus de développement et nous les traiterons comme des exemples.

Ces remarques étant faites, nous allons maintenant chercher la façon de résoudre ce problème qui reste toujours complexe.

B. RECHERCHE D'UNE METHODE DE RESOLUTION

3.1. LES DIFFERENTES METHODES DE RESOLUTION (1)

3.1.1. Les méthodes de recherche et d'organisation

3.1.1.1. Classification

Les méthodes qui s'offrent à l'Ingénieur pour faire progresser ses connaissances ou pour organiser ses chantiers peuvent se grouper en deux catégories :

- les unes ont pour cadre la réalité : observations, analyse des conditions d'une exploitation réelle, expérimentation que l'on peut faire en modifiant quelques unes de ces conditions, comparaison des résultats réellement obtenus dans plusieurs exploitations réelles successives ou simultanées etc...

- les autres sont des études sur modèles, qui remplacent la réalité par une représentation plus maniable, permettant d'obtenir à moindre frais des résultats plus rapides et plus larges que la seule étude des exploitations réelles.

Bien entendu, l'analyse du réel doit nécessairement précéder l'élaboration d'un modèle, et le contact avec le réel doit rester permanent pour en vérifier la validité.

Le recours à un modèle est une démarche toute naturelle de l'esprit humain, un effort de simplification et de synthèse qui permet de dominer la complexité inextricable de la réalité.

(1) cf. article de L. VIELLEDENT et E. TINCELIN.

L'Ingénieur a la pratique courante de plusieurs types de modèle.

- les modèles réduits, que le mineur utilise par exemple pour les études de mécanique des roches

- les modèles analogiques, par exemple pour résoudre pratiquement des problèmes d'aéragé

- les modèles mathématiques où des formules, des fonctions ou des équations s'efforcent de rendre compte des phénomènes réels.

Certains modèles mathématiques par exemple ceux qui permettent de s'attaquer avec une efficacité **sans** cesse accrue aux problèmes de mécanique des roches, exigent la mise en oeuvre d'un arsenal mathématique qui ne peut être manipulé que par le spécialiste. Mais d'autres sont plus abordables et en particulier l'un deux d'utilisation courante : c'est le cycle des opérations de méthodes classiques d'organisation, qui définit la durée d'une opération globale par la considération des durées moyennes des opérations élémentaires qui la constituent.

Certains modèles mathématiques représentent la **réalité** avec une rigueur remarquable : la loi d'ohm par exemple, encore qu'il faille l'interpréter pour des conducteurs de grande section. D'autres, hélas, restent imparfaits et la beauté des calculs dont ils sont la source ne saurait pallier leur imperfection ni justifier leurs conclusions.

Les méthodes de simulation peuvent s'inscrire parmi les études sur modèle, mais, leur caractéristique est de permettre de serrer la réalité de beaucoup plus près, si on le désire, que les méthodes classiques d'organisation.

Les méthodes de simulation s'adaptent particulièrement bien aux problèmes de files d'attente, de stock, et de transport. Pour en définir les caractères, nous allons dans ce premier chapitre faire appel à un problème qui apparaîtra au lecteur d'une simplicité abusive mais qui sera l'amorce de celui que nous avons traité réellement.

B.1.1.2.

Exemple

Admettons que l'opération à envisager consiste à déplacer un tas de minerai, ou de déblais, d'un point A à un point B, dans des conditions qui permettent de considérer les points A et B comme fixes et le tonnage à déplacer comme très grand vis à vis du débit journalier possible ; les déblais sont chargés en A par une chargeuse dans des camions qui vont se déverser en B. L'analyse du problème posé doit permettre :

1/ de dresser une liste des facteurs intervenant dans sa définition :

- la capacité de chargement de la chargeuse
- la capacité des camions
- la vitesse de déplacement des camions
- la vitesse de déchargement des camions
- le nombre de camions
- la distance à parcourir
- les caractéristiques des pistes à utiliser.

2/ d'exprimer l'influence de ces différents facteurs sous forme de paramètre susceptible de prendre diverses valeurs numériques représentatives d'une organisation ou d'un matériel donné.

Par exemple,

- la charge utile CU d'un camion ;
- le temps de déchargement TC d'un camion qui dépend à la fois du type de pelle et de CU ;
- le temps T_t de trajet d'un camion qui dépend à la fois des caractéristiques de la piste et du chemin à parcourir ;
- le nombre n de camions etc...

3/ de traduire les résultats d'une organisation par des grandeurs caractéristiques, qui apparaîtront comme des fonctions des paramètres

- le tonnage déplacé par poste T
- le prix de revient du transport par tonne R
- le rendement par homme-poste r etc...

4/ de préciser les conditions qui sont imposées à certains des paramètres ou des résultats à obtenir, c'est à dire les contraintes du problème.

Dans le cas très simple pris pour exemple, des contraintes pourront résulter de l'obligation d'employer telle ou telle chargeuse ou tel camion disponibles, ou de l'impossibilité pour le nombre de camions n de dépasser certaines limites, ou la nécessité de dépasser un certain débit par poste. Mais dans une étude d'organisation, il est essentiel de ne pas se lier par des contraintes à priori trop restrictives pour ne pas laisser échapper certaines solutions qui peuvent se révéler intéressantes : il est bon de pouvoir chiffrer exactement l'incidence des contraintes qui subsistent pour juger de l'intérêt de s'en affranchir : par exemple l'achat d'un camion supplémentaire, qu'on croyait devoir exclure à priori, peut conduire à une solution plus satisfaisante.

L'introduction des contraintes dans l'étude d'un problème doit donc intervenir le plus tard possible, dans toute la mesure du moins où la complication qui en résulte peut être surmontée par les moyens dont on dispose.

5/ de préciser les valeurs susceptibles d'être prises par les différents paramètres

- valeurs déterminées, résultant d'un choix ou d'une hypothèse par exemple le nombre de camions n affectés au chantier

- valeurs aléatoires, soumises à une certaine loi de probabilité, par exemple le temps de chargement d'un camion

- parfois même, valeurs incertaines lorsqu'on ne peut prévoir ni avec certitude, ni en probabilité certaines données numériques du problème.

6/ de définir le critère de choix, sous forme d'une fonction de préférence, c'est à dire d'une fonction d'un certain nombre de grandeurs caractéristiques, qu'il faut rendre maximales ou minimales, compte tenu de certaines contraintes.

Mais dans la pratique, il est souvent difficile de définir avec rigueur le critère du choix, surtout sans étude préalable.

- se proposer de trouver la meilleure organisation possible d'un chantier, c'est seulement annoncer l'existence d'un problème

- chercher l'organisation qui permette d'obtenir le prix de revient le plus faible tout en assurant un débit journalier T supérieur ou égal à un certain minimum T_m , c'est une façon de poser correctement le problème.

B.1.1.3. Expérimentation par exploitation directe

Pour comparer deux organisations A et B - ou deux machines de caractéristiques différentes - une méthode naturelle consiste à choisir deux parties de caractéristiques aussi voisines que possible, d'équiper le premier suivant l'organisation A, le second suivant l'organisation B, et de noter ensuite les résultats obtenus et les comparer.

On peut également comparer les résultats des deux organisations A et B, dans le même quartier, au cours de deux périodes successives.

Malgré sa simplicité, cette méthode n'indique pas moins un certain nombre de précautions :

1/ les seules différences entre les deux exploitations doivent être des différences existant dans les deux organisations qui font l'objet de la comparaison, sinon, il faut introduire, dans l'interprétation des résultats, des termes correctifs toujours délicats à manipuler.

Cette condition n'est pas toujours facile à respecter. Tout d'abord, les conditions d'exploitation peuvent évoluer. Il se peut aussi qu'une comparaison des conditions de marche réelles de deux organisations ne soit pas parfaitement loyale : l'organisation A peut correspondre à une ancienne méthode qui roule toute seule avec une surveillance relâchée et un matériel essouffé, alors que l'organisation B met en jeu une idée nouvelle avec un matériel neuf, moins bien connu du personnel, mais suivi de près par les bureaux d'études et la surveillance, dans la recherche constante d'un meilleur rendement. Il y a souvent là une cause de déséquilibre, qui peut jouer en faveur de l'organisation nouvelle, objet de tous les soins du personnel et de la maîtrise ou de l'organisation ancienne mieux rodée.

2/ Les comparaisons ne peuvent évidemment pas se faire sur les résultats d'un poste ou de quelques postes, mais d'après des moyennes significatives ; en langage mathématique, nous dirons qu'il faut déterminer des moyennes et leurs intervalles de confiance et prolonger l'expérience assez longtemps pour que, si du moins les résultats obtenus sont significativement différents, ces intervalles de confiance se séparent. Pour l'étude du chargement, on peut penser qu'il faudrait prolonger chaque expérience pendant deux mois environ, à deux postes, pour être en mesure de faire des comparaisons valables.

3/ Les conditions de l'expérience doivent rester constantes pendant qu'elle se déroule ; chaque organisation à tester, ou chaque variante doit faire l'objet d'une expérimentation distincte.

Si ces précautions requises ne sont pas scrupuleusement respectées, les résultats obtenus sont fortement sujets à caution.

Dans le cas contraire, la méthode d'expérimentation directe par comparaison d'exploitations réelles présente visiblement de graves inconvénients :

- elle est très lente, surtout si les paramètres susceptibles de varier sont très nombreux ; le nombre de combinaisons des valeurs numériques qu'ils peuvent prendre est alors considérable, et il devient impossible de tester toutes ces combinaisons par la méthode directe.

- c'est une méthode a posteriori, et si une organisation optimale se dégage, on aura le regret d'avoir poursuivi, pendant trop longtemps, des expériences avec des organisations moins favorables.

- les résultats obtenus ne sont pas immédiatement transportables dans des conditions différentes de celles des expériences faites ; toute évolution de ces conditions doit conduire à une expérimentation nouvelle.

Bref, l'expérimentation directe par étude de chantiers réels n'est pratiquement efficace et utile que si le problème posé reste simple, ce qui lui laisse d'ailleurs, dans la pratique, un très large domaine d'utilisation.

B.1.1.4. Etude du cycle

Un problème type d'organisation est celui de la détermination du cycle d'une opération complexe, dans laquelle intervient le travail de plusieurs machines et de plusieurs ouvriers. Les méthodes classiques résolvent le problème par le tracé d'un graphique bien connu, où l'horaire de travail de chaque machine apparaît comme une succession de périodes de travail effectif, ou de déplacement, et d'attentes imposées par l'organisation. Le cycle, suivant cette définition, est la durée bien déterminée d'une opération qui se répète dans certaines conditions précises.

Dans le cas simple pris comme exemple, le cycle C_y sera défini par la connaissance :

- du nombre de camions n
- du cycle de chargement d'un camion \bar{t}_c , moyenne des temps de chargement obtenu par chronométrage
- du cycle du trajet aller et retour d'un camion, y compris le déchargement au point B, également obtenu par chronométrage \bar{t}_t .

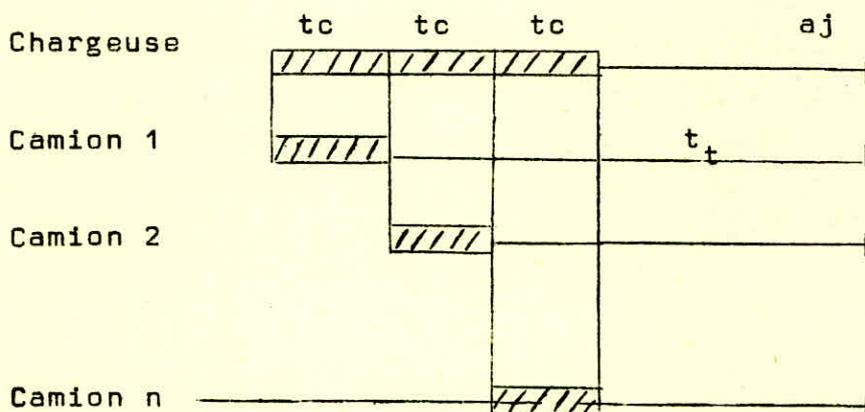
En supposant que $\bar{t}_t > (n-1) \bar{t}_c$, on a ceci :

$$cy = \bar{t}_c + \bar{t}_t.$$

L'attente des camions est nulle et l'attente de la chargeuse par cycle est :

$$aj = \bar{t}_t - (n-1)\bar{t}_c$$

on a la figure suivante :



avec  t_c

 t_t

Un cycle correspond au chargement de n camions ou de n.Cu tonnes ; par poste de durée P, le tonnage chargé est donc :

$$T = n Cu \frac{P}{Cy} = n Cu + \frac{P}{\bar{t}_c * \bar{t}_t}$$

Cette formule permet de calculer aisément l'incidence des différents paramètres sur T, et, en complétant l'énoncé du problème par les données nécessaires, sur le prix de revient R.

Si la notion de cycle ainsi comprise donne une approximation que l'on peut considérer comme valable dans des cas assez simples, le cycle devient quelquefois très difficile à définir et à isoler dans une organisation complexe : ce sera le cas en particulier si on considère l'ensemble des opérations qui se succèdent dans un chantier de traçage et défilage des mines de fer.

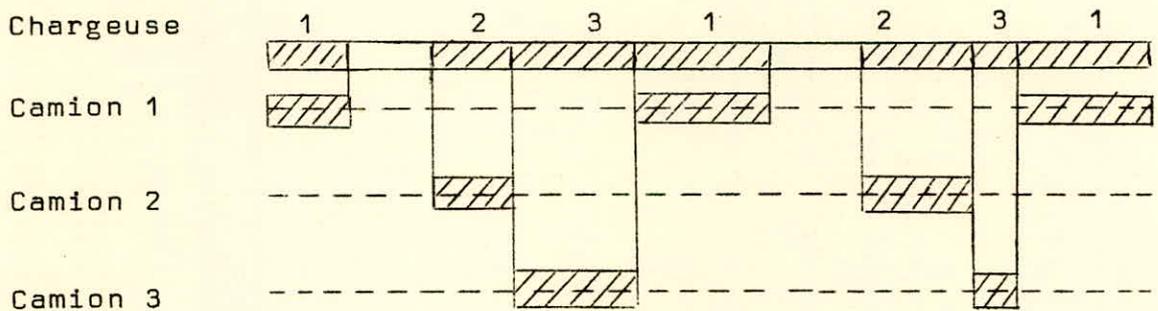
Mais une autre raison explique pourquoi, dès que l'organisation étudiée est un peu complexe, les résultats prévus par ces méthodes s'écartent de ce que donne la réalité : les temps élémentaires qui interviennent dans la détermination d'un cycle sont affectés de valeurs déterminées, c'est à dire définies une fois pour toutes, à partir de moyennes données, par des chronométrages ou des pointages, alors que dans la réalité, ce sont pour la plupart des variables aléatoires caractérisées par une moyenne, une dispersion autour de cette moyenne et plus généralement par une loi de répartition. En d'autres termes, jamais dans la réalité, une opération complexe ne se déroule exactement suivant la description de son cycle théorique.

Comment les méthodes de simulation peuvent-elles donner de la réalité une image plus fidèle ? Nous allons le voir en considérant plusieurs étapes successives.

B.1.2. Principes des méthodes de simulation

B.1.2.1. Graphique de marche

Si l'on note dans l'ordre les valeurs réelles des temps de chargement t_c et des temps de trajet t_t , on peut construire la figure suivante :



Légende

 Chargement

--- Trajet

 Attente

B.1.2.2. Simulation du réel

Dans la construction du graphique de marche interviennent les valeurs numériques prises par les différents paramètres.

- les unes sont déterminées et uniques pendant la durée des observations : ex : le nombre de camions n

- les autres caractérisent la distribution des valeurs prises par les paramètres de caractère aléatoire : temps de chargement t_c et temps de trajet t_t

Notons donc l'ensemble des valeurs observées de t_c et de t_t ; considérons les comme également probables et construisons un graphique de marche fictif en tirant au sort, chaque fois que nous en avons besoin, l'une des valeurs observées de t_c ou de t_t . Nous avons ainsi réalisé une simulation qui nous permet en particulier de calculer les résultats caractéristiques qui la résument N, A_j, A_c etc...

Dans les méthodes classiques d'organisation, on est conduit à considérer une succession de cycles théoriques de durée constant définie par les temps moyens des opérations élémentaires qui la constituent. En simulation, on considère une série de séquences de définition identique quant à la succession des opérations élémentaires, mais dont les durées sont aléatoires tout comme le temps élémentaires qui interviennent dans leur définition.

Vraisemblablement, jamais une séquence réelle ne sera conforme à la description d'une séquence simulée. Mais, si on prolonge assez longtemps l'expérience, on peut affirmer et démontrer que du moins en général lorsque les phénomènes convergent, les résultats obtenus sont donnés avec une certaine dispersion, définissant l'intervalle de confiance avec lequel on peut affirmer ces résultats.

En d'autres termes, on peut dire qu'il y a très peu de chance pour qu'une simulation, et en particulier l'exploitation réelle qui n'en est qu'un cas, donne des résultats extérieurs à cet intervalle.

Et les résultats obtenus peuvent être sensiblement différents de ceux qu'on pourrait prévoir à partir de la seule considération des temps moyens, du moins si l'on s'attaque à un problème assez complexe.

B.1.2.3. Simulation d'exploitations hypothétiques

La simulation d'une exploitation réelle, achevée, ne peut pas nous donner des résultats nouveaux : son seul intérêt, d'ailleurs considérable, est de nous permettre de vérifier la validité du modèle et des valeurs numériques retenues.

La recherche d'une solution optimale, ou plus exactement les renseignements qui permettront de dégager cette solution, seront obtenus en opérant de nouvelles simulations avec de nouvelles valeurs de paramètres.

- on peut par exemple modifier le nombre de camions, n , en utilisant toujours les mêmes chronométrages pour définir les distributions des temps de chargement et de trajet ;
- on peut envisager l'incidence d'une variation de la distance de transport
- on peut aussi envisager de changer le matériel, ce qui peut modifier les temps de chargement et de trajet ; ainsi que la charge utile d'un camion, C_u .

Pour cela :

- si le matériel envisagé existe, il faudra procéder à de nouveaux chronométrages
- si le matériel envisagé est hypothétique, il faudra s'efforcer de prévoir son influence sur les valeurs numériques introduites dans la simulation, tout en tachant de contrôler dans toute la mesure du possible les hypothèses faites.

Une simulation fournit essentiellement les mêmes résultats bruts qu'une exploitation réelle : le principal dans l'exemple choisi est le tonnage chargé par poste ;

Des calculs annexes sont en général nécessaires pour exploiter ces résultats, en simulation comme dans la réalité et pour permettre le choix ; ce sera souvent des calculs d'ordre économique aboutissant par exemple à un prix de revient.

Une série de simulations donnera donc, et très rapidement, autant de renseignements qu'une longue série d'expériences sur le tas, et permettra de conclure, avant de perdre inutilement du temps à expérimenter dans des conditions qui se révéleraient après coup très éloignées des conditions optimales.

La simulation d'une exploitation hypothétique peut se faire à partir d'échantillons réels. Soit par exemple, dans le cadre de notre exemple, à étudier l'influence du nombre de camions n . Supposons enregistré le graphique de marche correspondant à une valeur n_0 de n et notées les valeurs successives de t_c et de t_t , on peut simuler une organisation différente, caractérisée par une nouvelle valeur n_1 de n en utilisant dans le même ordre, les mêmes suites de valeurs de t_c et de t_t .

Mais, le plus souvent, on demandera ces valeurs successives de t_c et de t_t à un tirage au sort suivant le principe exposé au Ch. B.2.2. : c'est la simulation sur échantillons artificiels aussi définis que l'on désigne sous le nom de méthode de Monte-Carlo.

B.1.3. Tirage-au sort de valeurs aléatoires

L'utilisation de valeurs aléatoires étant une caractéristique importante de la simulation, nous allons dire de quelles méthodes on dispose pour cela.

B.1.3. Utilisation directe des valeurs observées

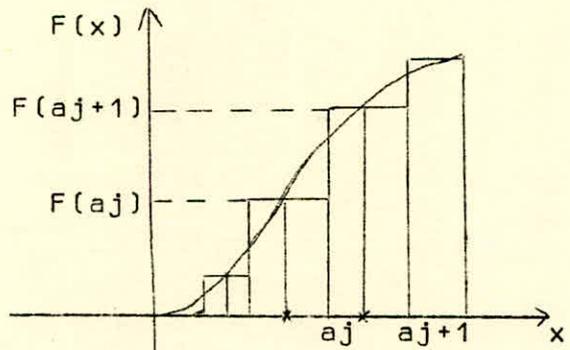
Les valeurs numériques observées -temps de chargement par camions, ou importance du tas en tonnes - sont inscrites dans l'ordre et transférées dans une suite de mémoires dans lesquelles on vient les reprendre dans le même ordre.

B.1.3. Utilisation de valeurs tirées au sort d'après la courbe de réparation observée

Soit $F(x)$ la fonction de répartition de la variable aléatoire X ; $F(x)$ n'est pas autre chose que la courbe qui donne les fréquences cumulées des valeurs observées x de la variable aléatoire en fonction de x .

$$F(x) = P(X \leq x)$$

L'axe des x , sur lequel sont inscrites les valeurs de la variable aléatoire X , est partagé en un certain nombre de segments, égaux ou non, a_j et a_{j+1} , et à toute valeur de $F(x)$, comprise entre $F(j)$ et $F(a_j + 1)$, on associe la valeur x_j de X égale à $x_j = \frac{a_j + a_{j+1}}{2}$



La courbe de répartition observée est donc remplacée par une courbe en escaliers, qu'on peut rendre aussi voisine qu'on le désire de la courbe initiale en multipliant le nombre des intervalles.

Par consultation d'une table de nombres au hasard, on dresse une liste de valeurs $F(x)$ d'égalité probabilité, et en face de chacune d'elles, on note la valeur de x_j correspondante. Cette liste des valeurs x_j , tirées au sort, est utilisée comme ci-dessus en B.3.1., comme liste des valeurs observées.

B.1.3.3. Utilisation d'une table

Cette méthode est analogue dans son principe à la précédente. La table est constituée par la liste des couples de valeurs $F(a_{j+1}), x_j$. Elle est introduite dans le calculateur dans autant de mémoires qu'il y a de couples de valeurs dans la table. La fonction de répartition $F(x)$, non décroissante, varie de 0 à 1 ; $F(a_{j+1})$ sera pratiquement donnée par un nombre A_{j+1} de n chiffres significatifs.

$$A_{j+1} = F(a_{j+1}) \cdot 10^n.$$

qui s'appelle l'argument, x_j étant la fonction.

Par ailleurs, il est possible d'engendrer avec le calculateur électronique, une série de nombres A pseudo-aléatoires, c'est à dire obéissant à une loi de probabilité constante ; plusieurs méthodes existent pour cela. Pour choisir alors au hasard une valeur x_j :

1/ on provoque la génération d'un nombre A de n chiffres ; il suffit pour cela de 5 instructions, constituant un sous programme.

2/ en donnant au calculateur l'instruction "consultation de table" en utilisant A comme argument de contrôle, la consultation s'arrête pour $A_j < A \leq A_{j+1}$ et donne la valeur aléatoire x_j qui correspond à l'intervalle $A_j - A_{j+1}$.

Cette valeur peut être transférée, au moyen de quelques instructions, dans la mémoire où elle sera utilisée.

Soit par exemple la table suivante :

02	2800	0003
06	7200	0004
18	9600	0005
45	9200	0006
73	7200	0007
95	9400	0008
99	9999	0009

Aj+1(n = 6) xj

Si l'on tire au sort un nombre A égal à 463 673 par exemple, la consultation de la table donne finalement $x_j = 7$.

La méthode qui consiste à utiliser une table implique pour le calculateur d'avantage d'opérations que celle qui consiste à transférer un nombre inscrit dans une mémoire ; elle est donc plus longue, mais elle n'immobilise qu'un nombre de mémoires plus faible.

B.1.3.4. Génération par le calculateur d'une valeur suivant une loi de référence donnée

Lorsque la distribution des valeurs observées peut être ajustée par une loi de probabilité classique (loi normale, loi de Poisson, loi binomiale, loi exponentielle etc...), à 1 ou 2 paramètres, il est possible d'engendrer au calculateur des séries de nombres vérifiant la loi de référence.

On utilise pour cela des sous programmes particuliers et on peut utiliser directement des valeurs ainsi trouvées.

Cette dernière méthode oblige à un certain lissage de résultats expérimentaux, mais elle peut être souvent justifiée, au moyen de tests statistiques classiques. Les seules mémoires utilisées sont celles qu'il faut pour enregistrer le sous-programme (25 instructions par exemple pour une loi de Poisson). Mais le calcul peut exiger un assez grand nombre d'opérations.

B.1.3.5. Suite de nombres au hasard

En simulation, et en statistique également, on a souvent besoin d'une suite de nombres au hasard, c'est à dire obéissant à une loi de probabilité constante.

Le tirage au sort donne une urne, ou au moyen d'une roulette, sont des méthodes artisanales, et d'ailleurs fort sujettes à caution. En pratique, deux méthodes sont utilisables.

1/ Recours à une table de nombres **au hasard**, telle qu'on peut en trouver dans les ouvrages de statistiques.

La suite des chiffres inscrite dans une telle table obéit à une loi de probabilité constante ; il en est de même de la suite des nombres que l'on peut former en groupant par 2, 3,....., n, les chiffres successifs.

L'établissement de telles tables, il en existe de plusieurs millions de chiffres, ne va pas sans difficultés, qu'elle qu'en soit l'origine. Par exemple chiffres sortis au tirage d'une loterie). Une bonne table doit être soigneusement vérifiée, par application d'un certain nombre de tests notamment.

- test des fréquences pour vérifier que la fréquence observée des 10 chiffres est compatible avec une loi constante.

- test des paires permettant la même vérification pour les nombres constitués par 2 chiffres successifs.

- test du poker, permettant de vérifier que les combinaisons classiques du poker : paire, brelan, carré etc... apparaissent avec une fréquence observée compatible avec la probabilité des différentes combinaisons.

L'établissement de telles tables a donné lieu de très importants travaux permettant de disposer de tables convenables ; mais toutes ne sont pas sans anomalies.

2/ La génération d'une suite de nombres pseudo-aléatoires par un calculateur.

Il peut paraître paradoxal d'engendrer mécaniquement une série de nombres au hasard ; en fait ces nombres (mais non les chiffres qui les constituent) se présentent comme des nombres tirés au sort suivant une loi de probabilité à densité constante ; ils constituent une suite de nombres pseudoaléatoires.

Plusieurs méthodes existent, soigneusement vérifiées par les statisticiens. A titre documentaire, celle que nous avons suivie pour obtenir la série d'environ 5.000 nombres pseudoaléatoires de 6 chiffres dont nous avons besoin pour chaque simulation.

soit A_j l'un deux ; K un facteur constant de 4 chiffres ; le produit kA_j est un nombre de 9 ou 10 chiffres, les 6 de droites donnent $A_j + 1$. les études théoriques et statistiquées faites par les chercheurs qui ont travaillé sur ces séries conduisent à accepter :

- pour A_0 un nombre de 6 chiffres se terminant par 1,3,7 ou 9
- pour k la valeur 1003.

B.2. , CHOIX DE LA METHODE DE RESOLUTION

B.2.1. Les méthodes empiriques

B.2.1.1. Mise en oeuvre

Supposons que le chef d'exploitation ouvre une seule recette et trois gradins distants de cette dernière de d_1 , d_2 et d_3 respectivement.

Il fixe une règle de gestion du Skip et veut déterminer quel est le meilleur équipement qu'il doit affecter entre les différents gradins ouverts.

Il va donc essayer plusieurs équipements E_1, E_2, \dots, E_n , et pour chacun d'eux, calculer par exemple le coût à la tonne rendue au concasseur et le rendement du skip en vue de tracer pour la règle de gestion donnée du Skip la courbe donnant le coût /T en fonction rdt skip.

Il va donc essayer E_1 , tirer des résultats, ensuite E_2 etc... et ceci pour une situation géométrique donnée.

Chaque façon de répartir un équipement donné est appelée organisation. On aura évidemment plus d'organisations que d'équipement, puisqu'à chaque équipement comportant p éléments, correspondent plusieurs répartitions, donc plusieurs organisations.

Pour une organisation donnée O_i , il faut prolonger le plus possible l'expérience de façon à ce que les phénomènes aléatoires s'amortissent et qu'on ait des résultats moyens significatifs et dotés donc d'un intervalle de confiance.

.../....

Mais les seules différences entre deux organisations O_i et O_j doivent être soit des différences d'équipement, soit des différences de répartition des équipements. Or, ceci est impossible, puisque quand ^{on} aura expérimenté E_p suivant une organisation O_i, on ne se retrouvera plus dans les mêmes conditions d'exploitation pour expérimenter O_j.

Car :

- les gradins auront avancé ;
- les camions et les pelles ayant déjà travaillé pour O_i, n'aborderont plus O_j dans les mêmes conditions ;
- plusieurs phénomènes aléatoires ou non se sont produits en O_i (accidents, etc..) et ne se reproduiront peut être pas en O_j etc...

Nous voyons donc que, pour une seule recette déjà, les conditions imposées à une bonne comparaison des résultats de deux organisations différentes, pour peu que le phénomène soit complexe, ne peuvent pas être réunies.

Ensuite, quand le chef d'exploitation ouvrira plusieurs recettes et plusieurs gradins, le nombre de comparaisons à faire sera tellement grand qu'il lui faudra des années pour expérimenter "convenablement" une ou deux organisations.

B.2.1.2. Conclusion

Il nous est impossible, dans le cadre de notre étude, de prendre les méthodes fondées sur l'expérimentation directe, comme méthodes de résolution.

.../...

B.2.2. Modèle Mathématique

B.2.2.1. Mise en oeuvre

D'après l'analyse faite en A_2 , le problème se pose de façon complexe et n'admettra comme nous allons le démontrer, aucune formulation mathématique qui soit à la fois simple et aisée à manipuler.

Pour schématiser ceci, prenons un exemple des plus simples, c'est-à-dire le cas d'une seule recette ouverte avec un seul gradin ouvert auquel on aura affecté n camions.

A la recette et devant la pelle, on se trouve confronté à des phénomènes d'attente. Les éléments qui attendent, c'est-à-dire les camions, sont appelés "clients". Les endroits où ils chargent (pelles) et déchargent (recette) sont appelés "guichets".

La pelle et la recette rendent des "services" en chargeant ou déchargeant le minerai.

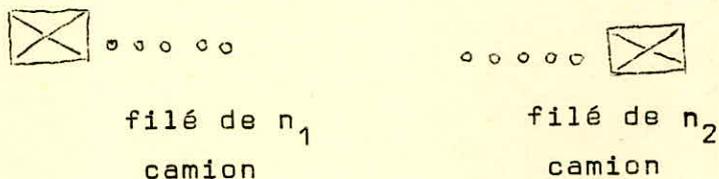
Les temps de service, étant fonction de divers phénomènes aléatoires, sont aléatoires. Les camions auront donc des fréquences d'arrivées, aux guichets, aléatoires.

Appelons μ_1 le nombre moyen de camions servis pendant l'unité de temps à la recette et μ_2 le nombre moyen de camions servis pendant une unité de temps à la pelle.

Le nombre de clients dans le système formé des deux guichets et des camions, est constant et égal à n .

Nous sommes donc dans le cas d'un système cyclique.

Recette



Ce problème a déjà été étudié par KÖNIGSBERG. Pour k guichets et n clients, la probabilité pour qu'on ait n_1 clients au guichet 1, n_2 clients au guichet 2 etc... est égale à :

$$P(n_1, n_2, \dots, n_k) = \frac{\lambda_1^{n_1} \cdot \lambda_2^{n_2} \cdot \lambda_k^{n_k}}{\sum_{\pi} \lambda_1^{r_1} \cdot \lambda_2^{r_2} \cdot \dots \cdot \lambda_k^{r_k}}$$

$$\text{avec } \left\{ \begin{array}{l} \lambda_i = \frac{1}{\mu_i} \\ N = \sum_{p=1}^k n_p = \sum_{p=1}^k n_p \end{array} \right.$$

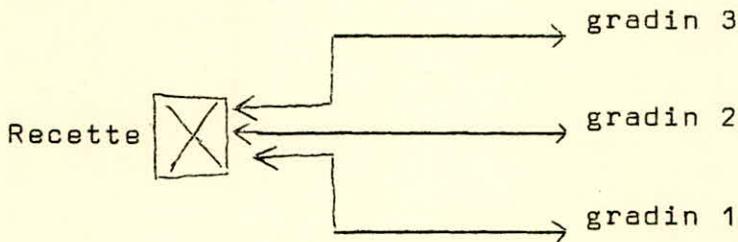
Appliquons cette formule à notre cas : on obtient

$$P(n_1, n_2) = \frac{\lambda_1^{n_1} \cdot \lambda_2^{n_2}}{\sum_{\pi} \lambda_1^{r_1} \cdot \lambda_2^{r_2}} \quad \text{avec } \left\{ \begin{array}{l} n = n_1 + n_2 \\ n = 1 + 2 \\ \lambda_1 = \frac{1}{\mu_1} \quad \lambda_2 = \frac{1}{\mu_2} \end{array} \right.$$

Nous remarquons que ces formules restent totalement théoriques et ne nous amènent, au point de vue pratique

Examinons néanmoins le problème sous l'angle toujours des files d'attente.

Schématiquement on a ceci :



Nous voyons donc que nous avons 3 "systèmes cycliques" entre chacun des gradins et la recette. Mais ces systèmes ne sont pas indépendants car, à la recette, ils se rencontrent et ont une file d'attente commune.

Si nous prenons plusieurs recettes ayant chacune plusieurs gradins le problème devient inextricable.

B.2.2.2. Conclusion

En ne considérant le problème que du point de vue des files d'attente, il est impossible de trouver une formulation mathématique, or à ces phénomènes d'attente viennent se greffer d'autres problèmes tels que gestion du Skip, distance des gradins aux recettes, répartition géométrique, affectation des équipements, type de matériel utilisé, etc..

B.2.3. La Simulation

C'est la seule méthode qui nous reste et qu'on prendra car elle s'applique dans tous les cas. Nous ne dirons rien dessus puisqu'elle sera longuement analysée et testée dans les chapitres qui viennent.

C. POLITIQUES ET PARAMETRES TESTES

C.1. PROBLEME DES POLITIQUES

Il existe plusieurs façons de gérer le Skip. Par exemple, à un moment donné l'opérateur va s'apercevoir que plusieurs recettes auxquelles attendent un ou plusieurs camions, vont solliciter la benne pour un déchargement.

Dès que ce cas se présente l'opérateur doit faire un choix entre les différentes recettes. Chacune des façons de choisir une recette parmi d'autres est appelée politique.

Nous allons donc voir dans ce paragraphe, quels sont les choix possibles et dans quels cas ils se présentent..

Nous allons d'abord émettre deux hypothèses fondamentales :

- l'opérateur donnera la priorité aux recettes ayant au moins deux camions. Ceci parce que la benne a 50 T de charge utile et que les camions actuels en ont 25 T.
- la seconde hypothèse est liée à la précédente : le Skip ne revient jamais à moitié vide au concasseur.

Ces deux hypothèses sont à la base de notre modèle. Leurs origines viennent du fait qu'on essaiera de remplir la benne et éviter, en même temps, de lui faire parcourir plusieurs aller-retour pour remplir 50 T. Quand on fera monter la benne ce sera pour la charger complètement avant de la redescendre. Ce chargement se fera donc de deux façons :

- déchargement de deux camions simultanément
- déchargement d'un camion à une recette qui ne possède que celui là. Puis déchargement du second camion soit à cette même recette soit à une autre recette.

.../...

Pour simplifier l'exposé, nous dirons qu'une recette possède deux camions dans le cas où elle en possède soit deux, soit plus de deux.

C.1.1. Une ou plusieurs recettes possèdent deux camions

C.1.1.1. Une seule recette possède deux camions

Ici il n'y a pas de choix, l'opérateur montrera la benne à cette recette : aucune politique n'entre donc en ligne de compte.

C.1.1.2. Plusieurs recettes possèdent deux camions

Dans ce cas, il y a un choix à faire entre plusieurs recettes. Nous allons donc introduire des politiques et les numéroter pour les différencier.

Politique 1 : Le Skip déchargera les camions arrivés les premiers et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette

Politique 2 : Le Skip déchargera les camions arrivés les premiers

Politique 3 : Le Skip donne la priorité à la recette la plus basse et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette.

Politique 4 : Le Skip donne la priorité à la recette la plus basse.

Politique 5 : Le Skip donne la priorité à la recette ayant la file la plus longue et ne peut revenir à la même recette.

.../...

Politique 6 : Le Skip donne la priorité à la recette ayant la file d'attente la plus longue.

Nous avons établi cette liste en ayant notre choix sur les politiques les plus logiques possibles. D'autres politiques existent peut être et peuvent être additionnées à cette liste. De la même façon, une politique qui paraît logique peut s'avérer inefficace.

Nous remarquons que nous avons pris à chaque fois comme sous-politique du fait que le Skip peut ou ne peut revenir à une recette où il a auparavant déchargé un ou deux camions. Pour expliquer ce point, prenons par exemple le cas de la Politique 4.

A chaque fois que l'opérateur doit faire un choix entre plusieurs recettes ouvertes sollicitant la benne du Skip pour un déchargement, il prendra toujours la recette la plus basse tant qu'elle possède deux camions disponibles. Pour que les gradins de la recette la plus basse soient très proches ou que le nombre de camions affectés à ces gradins soit élevé, cette recette sera prise "indéfiniment". Et les autres recettes seront prises en compte que par intermitence. Il y aura par conséquent un déséquilibre dans le processus de transport et par voie de conséquence dans le processus d'exploitation du quartier on va donc interdire au Skip d'aller à une recette où il a déjà effectué un déchargement.

C.1.2. Aucune recette ne possède deux camions

On estime que si le Skip doit attendre que des camions arrivent à des recettes, il ne les attendra pas au concasseur. Il montera les attendre à la première recette ouverte. De cette façon, il ne perdra pas de temps en trajet.

Si aucune recette ne possède deux camions, deux cas peuvent se présenter :

- le skip attendra que deux camions soient disponibles à une recette : comme c'est une décision entre plusieurs autres, ce sera donc une politique, une façon de gérer le skip. Elle prendra le numéro 1 ;

- le skip n'attendra pas que deux camions soient disponibles à une recette ; il cherchera s'il n'existe pas de recettes qui en possèdent un. Le Skip va alors effectuer le déchargement en deux phases. Il va décharger un camion ; ensuite il déchargera le second camion soit à la même recette, soit à une autre recette.

C.1.2.1. Déchargement du premier camion

a/ - Une recette et une seule possède un camion

Ici, il n'y a pas de choix, donc pas de politique. Le Skip monte à la recette pour décharger ce premier camion.

b/ - Plusieurs recettes possèdent un camion

Les différentes politiques que nous avons considérées pour choisir entre plusieurs recettes possédant toutes un camion sont les suivantes :

Politique 2 : Le Skip déchargera le camion arrivé le premier et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette.

Politique 3 : Le Skip déchargera le camion arrivé le premier.

Politique 4 : Le Skip donne la priorité à la recette la plus basse sans revenir deux fois de suite à la même recette.

Politique 5 : Le Skip donne la priorité à la recette la plus basse.

Politique 6 : Le Skip donne la priorité à la recette la plus haute et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette.

Politique 7 : Le Skip donne la priorité à la recette la plus haute.

Les politiques 6 et 7 qui paraissent les plus mauvaises sont peut être les meilleures. En effet, le Skip ayant déchargé le premier camion, devra décharger le second. Si celui-ci se trouve à une **autre** recette, le Skip, en descendant s'arrêtera à cette recette pour le déchargement de ce second camion.

c/ - Il n'existe aucun camion à aucune recette. Dans ce cas, le premier camion à décharger, sera le camion arrivé le premier.

C.1.2.2. Déchargement du second camion

Suite aux hypothèses que nous avons formulées, le Skip ne descendra pas sans avoir déchargé un second camion.

S'il attend à la même recette le second camion, il aura pris une décision parmi d'autres. Cette politique sera la politique de cette deuxième phase de déchargement.

Sinon, il va falloir qu'il cherche ailleurs le second camion à décharger. Mais, si pendant qu'il déchargeait le premier camion le second camion est arrivé à la même recette, il le prendra bien sûr. Il n'y a pas de choix.

a/ - Une recette et une seule possède un camion

Si le second camion n'est pas arrivé entre temps à la recette où a été déchargé le premier camion et qu'il n'existe ailleurs qu'une seule recette possédant au moins un camion, il n'y a pas de problème, il ira décharger le second camion à cette recette.

b/ - Plusieurs recettes possèdent au moins un camion

Devant choisir entre plusieurs recettes, il va le faire selon deux optiques :

Politique 2 : Le Skip déchargera le second camion à la recette ayant le premier camion arrivé.

Politique 3 : Le Skip déchargera le second camion à la recette la plus proche.

Si on choisit la politique 1, il ne faudrait pas que le Skip attende indéfiniment le second camion à cette recette. Au bout d'un temps donné à l'avance, il faudrait qu'il aille voir si ce second camion ne se "trouve pas ailleurs".

Ensuite, nous constatons que d'autres politiques telle que prendre la recette ayant la file la plus longue ont été laissées du fait qu'elles ne servent pratiquement à rien. Il est en effet peu probable que le temps que le Skip décharge un camion il se forme une file importante à une recette où il existait au plus un camion.

c/ - Aucun camion n'existe à aucune recette ouverte

Dans ce cas le Skip attendra à la recette où il a déchargé le premier camion qu'un camion arrive à une recette quelconque. Il n'y a pas de choix, donc pas de politique

C.1.3. Utilisation des Politiques

En conclusion, l'opérateur fait intervenir la notion de politique quand il doit choisir :

- entre plusieurs recettes possédant toutes deux camions disponibles ;
- entre plusieurs recettes possédant toutes un premier camion à décharger
- entre plusieurs recettes possédant toutes un second camion à décharger.

Suivant l'une des trois phases dans laquelle il se trouve il doit trancher et prendre une décision. Chaque politique afférente(1) et, plus généralement, on appellera Politique l'association de trois sous-politiques, chacune d'elle concernant l'une des trois phases.

Par exemple, la politique (5,1,3) signifie que ce sera la sous-politique 5 qui sera prise dans le cas où plusieurs recettes possèdent deux camions. Si aucune recette ne possède deux camions, le Skip attendra que deux camions soient disponibles à une recette. La troisième sous-politique est donc en trop car on déchargera toujours dans le cas de la politique (5, 1, 3) deux camions à la fois et toujours à une même recette jamais séparément.

(1) A chacune des phases sera pour nous donc, une sous-politique.

Supposons maintenant que l'opérateur décide de gérer le Skip suivant la politique (3, 2, 3). Dans ce cas si aucune recette ne possède deux camions, il déchargera le premier camion après avoir choisi la recette de déchargement suivant la sous-politique 2.

La recette de déchargement du second camion sera choisie suivant la sous-politique 3.

Enfin, nous attirons l'attention des utilisateurs du modèle (que nous avons construit) qu'avant de faire un choix de politique de gestion du Skip, il faut veiller à ce que ce choix soit logique.

Par exemple, s'il n'existe qu'une seule recette ouverte, il peut prendre n'importe quelle sous-politique de la phase 1, puisqu'il n'aura jamais à choisir entre plusieurs recettes. Par contre, pour la phase 2 il faut éviter de prendre la sous-politique 1. Qu'il n'y ait deux camions disponibles ou non, cela ne rime à rien que le Skip reste au concasseur à attendre. S'il doit attendre un camion, il vaut mieux qu'il attende à la recette ouverte.

Ensuite, il faut obligatoirement prendre la sous-politique 1 de la phase 3. Une seule recette étant ouverte, le Skip déchargera évidemment le second camion à cette recette. Il ne cherchera pas ailleurs.

C.1.4. Liste des Politiques

En Annexe, on peut trouver, résumées, toute la liste des politiques utilisées dans le modèle.

C.2. PROBLEME DES DISTANCES

Les distances des gradins aux recettes étant variables et comprises dans certaines fourchettes, on a pris la borne inférieure, la borne supérieure et la distance moyenne. Et on ne considérera que ces trois valeurs. Ceci ne faussera pas le modèle car celui-ci sera général alors que les distances seront des paramètres qu'on introduira dans le modèle, donc des paramètres externes au modèle et, par voie de conséquence, qui n'influeront que sur les résultats donnés par le modèle.

C.3. PBOBLEME DES ENGINES

Les pelles étant peu nombreuses, on les a considérées comme des engins pouvant avoir des caractéristiques différentes. Pour ne pas alourdir le modèle, on n'a pris que deux types de pelles. Plusieurs autres types peuvent y être facilement intégrés.

Par contre, on a considéré que le parc des camions était uniforme. Mais là aussi, une modification simple peut y être apportée.

En outre, actuellement seuls des camions de 25 T sont utilisés. Mais des camions de 50 T aussi peuvent être utilisés. Il y aura alors déchargement d'un camion à la fois.

D. MISE EN OEUVRE DE LA SIMULATION

D.1. LE PROCESSUS D'EXPLOITATION SIMULE

D.1.1. Options retenues

Les recettes ont en réalité un nombre variable de gradins, mais pour des raisons techniques (difficultés de roulage) chaque recette aura au plus trois gradins ouverts. Si par la suite il s'avère nécessaire de travailler à plus de trois gradins par recette, du point de vue programmation il suffira de redimensionner la variable relative au nombre de gradins affectés à chaque recette.

A cause du manque de statistiques relatives aux pannes du Skip, il n'est pas prévu de déchargement du minerai ailleurs qu'à la trémie de la recette (le problème des stocks est écarté). On suppose dans notre programme que le Skip ne tombe jamais en panne. Notons que dès l'élaboration des statistiques de panne du Skip, on pourra construire comme pour les autres engins des tables de durée de fonctionnement du Skip entre deux pannes et la durée de ces pannes, le programme s'y prêtant très bien.

Vu que l'on s'intéresse uniquement au transport, on fait l'hypothèse que la pelle n'est nullement gênée par la foration, c'est-à-dire que l'on suppose que la pelle a toujours un tas à charger.

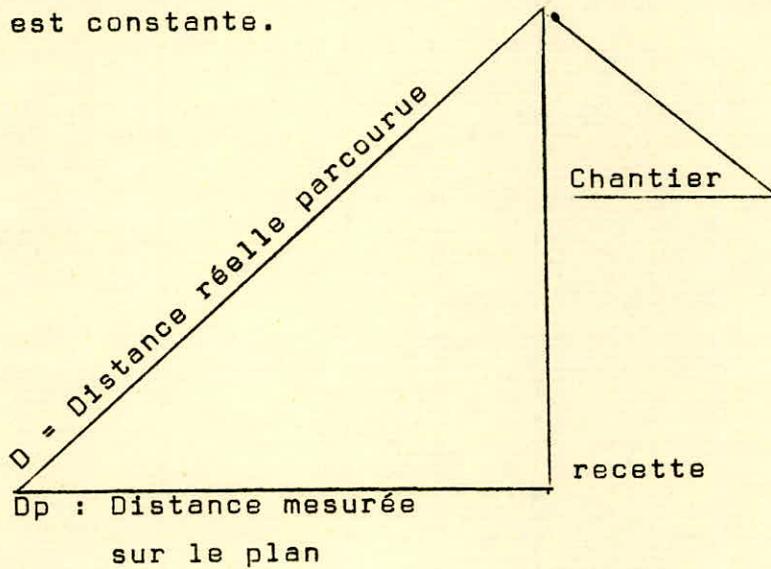
On suppose aussi que le concasseur n'est pas une contrainte c'est-à-dire qu'il peut absorber continuellement toute la quantité de minerai extraite des différents chantiers du quartier de Chagoura, ainsi le Skip ne peut rester inactif à cause du concasseur.

On dispose pour chaque gradin d'un parc homogène de camions affectés à ce gradin.

Chaque engin de chargement ne travaille que sur un seul tas à la fois.

On a une pelle par gradin.

On suppose que pour un trajet déterminé des camions, la pente moyenne est constante.



la distance réelle de roulage des camions est :

$$D = \sqrt{D_p^2 + D_e^2}$$

Dp étant la distance mesurée sur un plan et De la dénivellation.

Le cycle de transport du minerai est conçu pour un chargement avec pelles et camions.

D.1.2. Cycle des opérations

Pour l'utilisateur la partie essentielle du programme est constituée par le déroulement du cycle des opérations du chargement et de transport.

On trouvera ci-dessous le détail de chaque opération telle qu'elle est prise en compte par le programme de simulation.

- Déplacement du camion de la recette vers le chantier
- Chargement du camion par la pelle
- Manoeuvre du camion devant la pelle
- La pelle tombe - t - elle en panne ?
- Déplacement à plein du camion de la pelle à la recette
- Le camion tombe-t-il en panne ?
- Manoeuvre du camion devant la recette
- Sélection du couple de camions en fonction de la politique de déchargement adoptée
- Déplacement du Skip vers la recette
- Déplacement du Skip de la recette au concasseur.

NOTA

- * Au niveau de chaque opération élémentaire des attentes de diverses sortes sont comptabilisées dans des compteurs spécifiques.
- * On ne charge qu'un tas effectivement abattu (pas de grattage).

D.2. ELABORATION DU MODELE DE SIMULATION

D.2.1. Généralités

Un modèle de simulation est un outil d'analyse assez lourd, et ceci pour deux raisons essentielles :

- En premier lieu, le temps passé à l'élaboration, à l'écriture et à la mise au point du programme lui-même
- Ensuite il ne faut pas perdre de vue que cet instrument ne peut que nous aider à constater des faits. Il nous permettra de tester des hypothèses toutes prêtes, car il ne saurait être créateur.

Dans ce rôle, il devient surtout intéressant pour analyser un éventail très large d'investigation ; c'est bien ainsi que nous l'avons utilisé puisque plusieurs organisations ont été simulées.

D.2.2. Algorithme

L'évolution des différents paramètres du programme de simulation se faisant dans le temps, il est nécessaire de posséder une méthode d'organisation des évènements qui permet au programme de simulation d'accomplir ses différentes fonctions. On pourra suivant le cas, interroger le système à dates régulières (simulation par pas de temps) pour connaître les changements intervenus, on établit la séquence d'évènements classés dans l'ordre de réalisation (simulation en évènements). Dans le premier cas on risque d'explorer inutilement les instants $n+1$, $n+2$, ..., $n+p$ s'il ne se passe rien entre les instants n et p , c'est pour cela qu'on a préféré une simulation à chronologie par évènements.

Le transport du minerai du chantier au concasseur primaire de Chagoura est fait en deux étapes :

- roulage (camions)
- acheminement par Skip.

Dans notre programme le chargement et le déchargement de la benne du Skip est l'évènement coordinateur parmi tous les évènements qui se réalisent au cours de la simulation, donc tous les évènements qui caractérisent l'exploitation des différents gradins sont liés, de ce fait on ne peut pas simuler l'activité de chaque gradin séparément. Il y a une interdépendance entre les activités de tous les gradins ouverts ; cette interdépendance des évènements est commandée par les deux évènements : chargement et déchargement de la benne du Skip.

Le déchargement de la benne fixe le moment où l'on fait le décompte des camions disponibles aux recettes, le chargement de la benne du Skip commande le cycle des camions -(ceux qui viennent de se faire décharger dans la benne)-

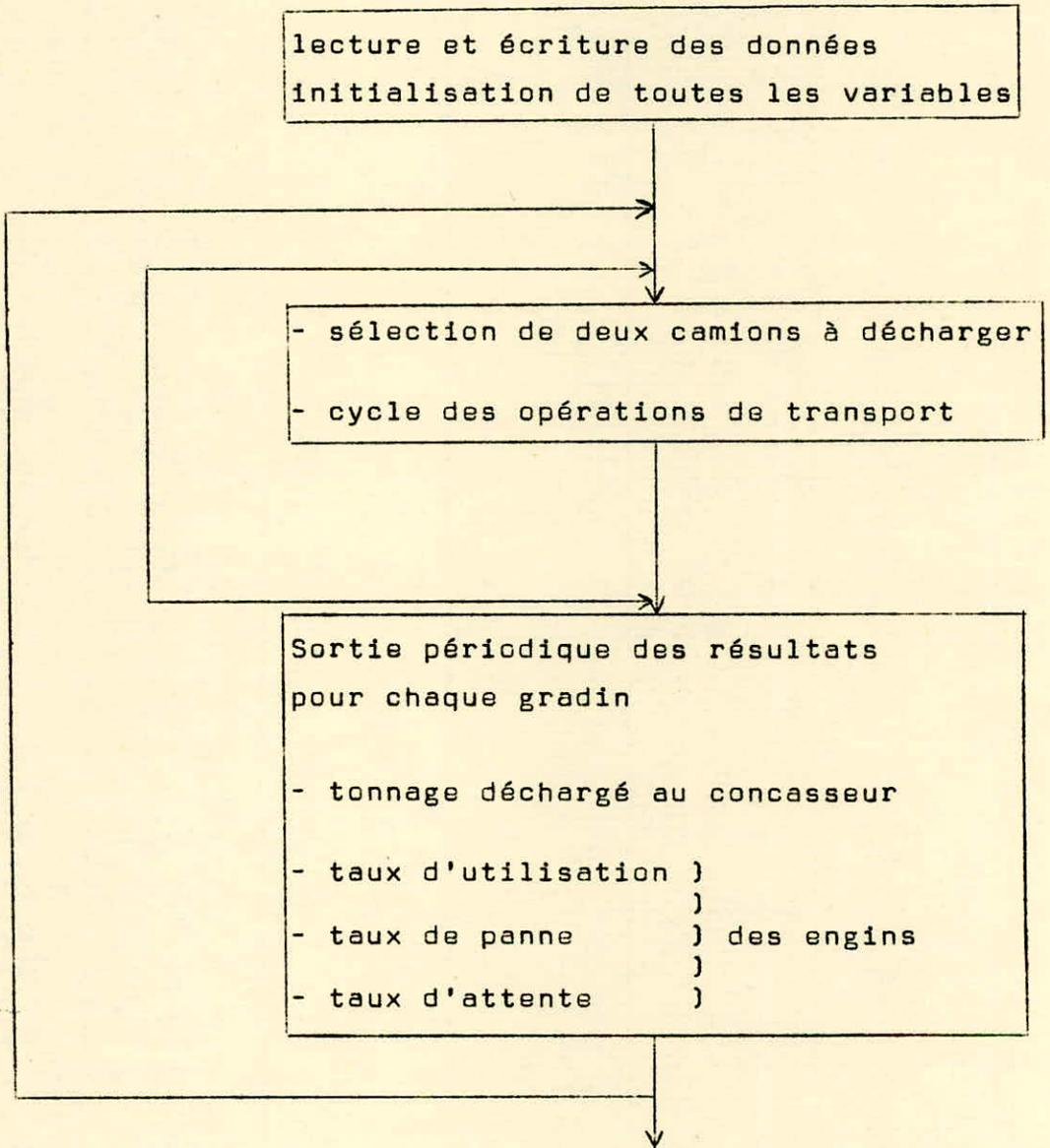
D.2.3. Présentation du programme de simulation

D.2.3.1. Organigramme

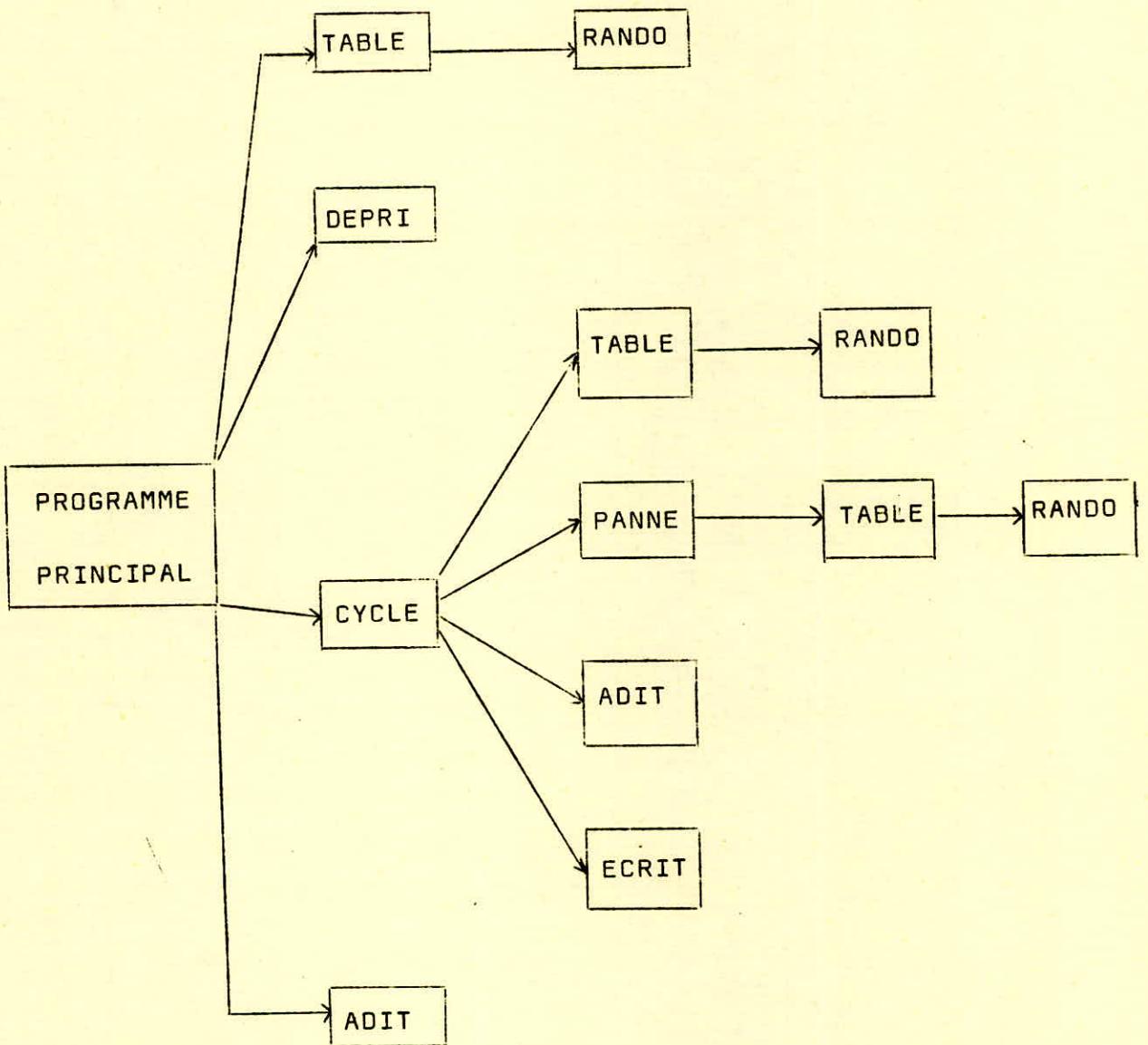
Un organigramme est un schéma qui permet de décrire le déroulement des opérations, en exprimant la manière de passer d'une opération à la suivante en montrant dans quelle direction les calculs doivent se poursuivre compte-tenu des résultats déjà obtenus.

La mise au point d'un organigramme constitue un travail de synthèse très utile, et qui implique une analyse préalable minutieuse des opérations : "il a la rigueur d'un langage scientifique et ne pourrait s'accompagner de l'imprécision qui se glisse aisément dans la description d'un processus. On trouvera un organigramme en Annexe".

D.2.3. Le programme de simulation



D.3. LIAISONS ENTRE PROGRAMME PRINCIPAL ET SOUS-PROGRAMMES ET LEUR FONCTION



D.3.1. Fonctions du programme principal

- Lecture des paramètres géométriques (longueur de la piste de roulage)
- Assure l'initialisation de tous les paramètres concernant l'enregistrement des résultats depuis le début de la simulation
- Sélection des camions qui doivent se faire décharger
- Réalise l'opération de déchargement des camions.

Le sous-programme TABLE est appelé par le Programme Principal et par le sous-programme CYCLE . Sous la forme TABLE (1,I) il assure la lecture et l'impression des tables de répartition, le calcul et l'impression de leur moyenne et de leur écart-type.

Sous la forme TABLE (2, I) il assure la détermination aléatoire d'une valeur choisie dans les tables de répartitions I.

D.3.3. Le sous-programme PANNE est appelé par le sous-programme CYCLE pour le tirage aléatoire des pannes des engins. Dans le sous-programme PANNE, si l'on a atteint la date de PANNE fixée précédemment, on tire une durée de panne et la prochaine date de panne.

D.3.4. Le sous-programme RANDO appelé par le sous-programme TABLE procède au tirage aléatoire de deux nombres N (compris entre 1 et 10) et P (compris entre 0 et 9) permettant de choisir une valeur dans les tables de répartition.

- D.3.5. Le sous-programme ADIT (X, Y, Z) ajoute X à Y et à Z. Il est appelé par le programme principal et par le sous-programme CYCLE.
- D.3.6. Le sous-programme ECRIT est appelé par le sous-programme CYCLE pour l'écriture des titres et des valeurs des résultats.
- D.3.7. Le sous-programme DEPRI permet de déterminer quels sont les deux premiers camions arrivés à chacune des quatre recettes. Il est appelé par le programme principal.
- D.3.8. Le sous-programme CYCLE comprend plusieurs parties
- CYCLE 1 : Réalise la lecture des autres données et l'initialisation des horloges. Il est appelé par le programme principal
- CYCLE 2 : Réalise le cycle des opérations de transport et de chargement
- CYCLE 3 : Calcule les différents rendements est commande l'impression de tous les résultats.
- CYCLE 4 : Réalise l'initialisation des paramètres concernant l'enregistrement des résultats depuis le début de la simulation. A la fin de la mise en route CYCLE 4 est appelé encore pour une remise à zéro générale de ces compteurs.
- CYCLE 5 : Réalise l'initialisation des paramètres concernant l'enregistrement des résultats depuis la sortie précédente. A la fin de la mise en route ainsi qu'après chacune des sorties de résultats CYCLE 5 est encore appelé pour une remise à zéro de ces compteurs.

D.4. LES DONNEES

D.4.1. Collecte des données

Les données utilisées dans cette étude proviennent de données statistiques collectées à OUENZA.

Les données relatives aux pannes des engins ont été recueillies auprès du service entretien.

Les autres données ont été obtenues par des chronométrages. Vu que la dispersion est assez faible, pour chaque variable on a pris une cinquantaine de chonométrages.

Tous les temps sont évalués en Dix millièmes d'heure (Dmh)

$$1 \text{ Dmh} = \frac{1}{10.000} \text{ heure}$$

Toutes les distances sont calculées et données en mètres.

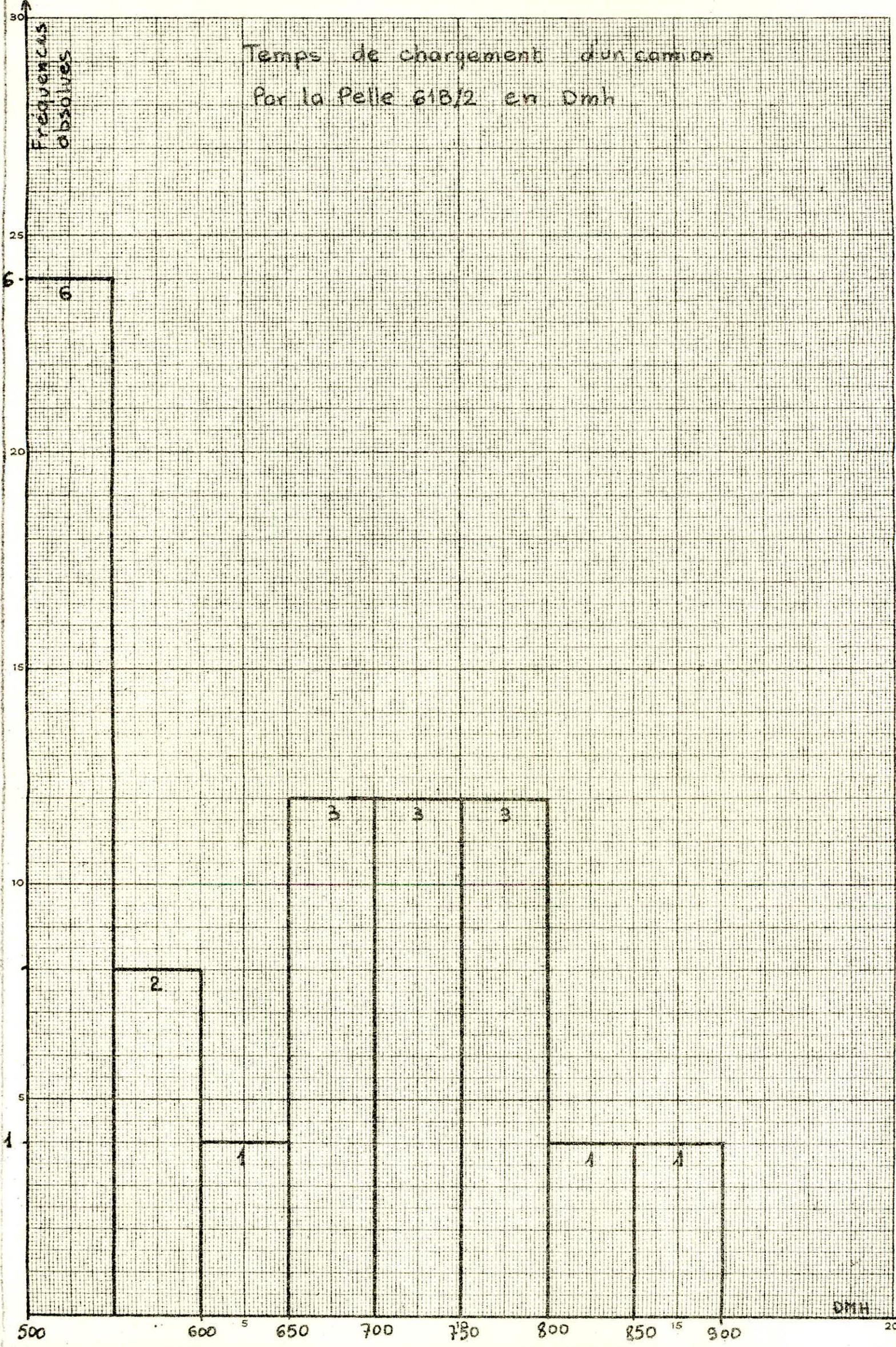
D.4.2. Traitement des données

Les données à Ouenza n'ont pas été utilisées directement, avant d'être introduites elles ont été traitées.

D.4.2.1. On construit un histogramme des fréquences absolues à partir des chronométrages et données recueillis sur place. Ces courbes se trouvent en Annexe.

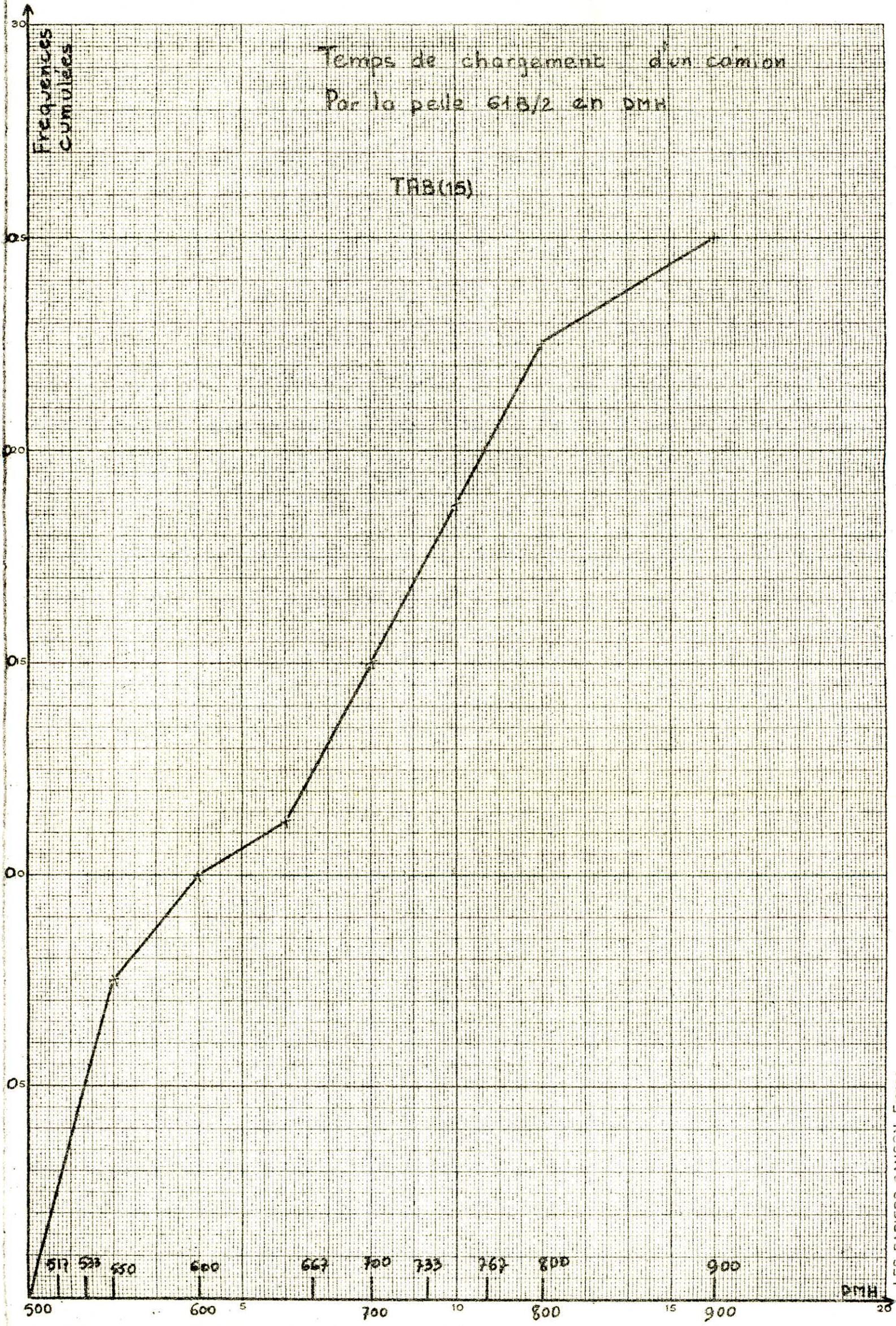
A titre d'exemple, construisons l'histogramme relatif aux temps de chargement d'un camion par la pelle 61B/2 et la courbe des fréquences cumulées.

Temps de chargement d'un camion
 Par la Pelle 618/2 en Dmh



Temps de chargement d'un camion
Par la pelle 618/2 en DMH

TAB(15)



D.4.2.2. On relève sur ces courbes 11 points découpant des probabilités égales, sachant que dans le programme de simulation est faite une approximation linéaire entre deux points quelconques voisins.

A titre d'exemple on a donné ci-dessus la courbe des fréquences cumulées et son découpage.

D.4.3. Tables introduites dans le programme de simulation

D.4.3.1. Tonnage des tas : TAB (6)

Les tonnages des tas sont issus d'une distribution construite par nous sur une moyenne de 10.000 tonnes (cette valeur moyenne nous a été fournie par la Direction de l'Exploitation de la Mine de l'Ouenza). La table de répartition est la suivante :

TAB (6)	{	9.000	9.200	9.400	9.600	9.800	10.000
	{	10.200	10.400	10.600	10.800	11.000	

D.4.3.2. Tonnage chargé par un camion à chaque voyage

Faute de pouvoir peser exactement le tonnage chargé par chaque camion à chaque voyage (pas de bascule) on a fait l'approximation (discutable) que le tonnage de chargement d'un camion était de 25 tonnes.

D.4.3.3. Temps de déplacement des camions sur 100 mètres

Les chronométrages ont été pris sur deux distances de roulage différents et avec des chauffeurs différents. Chacune de ces distances était supposée constante lors du chargement d'un même tas. Ces temps de déplacement prennent en compte le démarrage et l'arrêt des camions, mais les manoeuvres sont exclues. D'autre part on a séparé les déplacements à vide et les déplacements à plein. On a constaté que la dispersion était assez faible. Les temps mesurés ont été convertis en Dmh (Dix milliè- me d'heure) pour 100 mètres parcourus.

a/ - Déplacement en charge : TAB (3)

La table de présentation est :

{ 39 44 46 48 50 53 56 58 60 52 47
{

Moyenne 51,3

b/ - Déplacement à vide : TAB (1)

Table de répartition :

{ 44 45 46 47 48 49 50 51 52 54 55
{

Moyenne 49,1.

...../.....

D.4.3.4. Temps de manoeuvre des camions

La distance de manoeuvre étant faible et pratiquement constante, a été écartée pour ne retenir que le facteur temps. Ici aussi on a fait l'approximation (justifiée) que la durée de manoeuvre des camions était la même en travaillant au minerai ou au stérile.

a/ - Durée de manoeuvre des camions devant la pelle : TAB (5)

Table de répartition

{	60	73	82	91	100	109	117	125
{	152	168	230					

Moyenne 116,2

b/ - Durée de manoeuvre des camions devant la recette : TAB (2)

Table de répartition

{	60	70	76	81	83	86	88	91	95	99	120
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Moyenne 86,3

D.4.3.5. Temps de chargement d'un camion par la pelle

Ici aussi on a fait l'approximation (justifiée pratiquement) que les temps de chargement d'un camion en stérile et en minerai étaient identiques. A Ouenza les chronométrages ont été faits sur deux pelles différentes (54/3 et 61B/2) et sur un seul type de camion (Euclid R 35).

a/ - Temps de chargement d'un camion par la pelle 61B/2

TAB (15)

Table de répartition

{	500	517	533	550	600	667	700	733
{	767	800	900					

Moyenne 656,7

b/ - Temps de chargement d'un camion par la pelle 54/3

TAB (17)

Table de répartition

{	500	572	628	670	712	756	800
{	924	970	1.076	1.076	1.200		

Moyenne 795,8

D.4.3.6. Temps de déchargement d'un camion : TAB (4)

Ces temps prennent en compte uniquement le déchargement, les temps d'attente camion devant la recette étant exclus.

Table de répartition

{	55	60	62	64	66	67	68	70	77	82	95
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Moyenne 69,1.

D.4.3.7. Temps de déplacement de la pelle de tas à tas : TAB (16)

Il faut noter que la pelle ne charge de tas que lorsque celui qu'elle est en train de charger est terminé. Cette table a été construite par nous.

Table de répartition

(	1.000	1.200	1.400	1.600	1.800	2.000
(
(	2.200	2.400	2.600	2.800	5.000	

Moyenne 2.100

D.4.3.8. Pannes des engins

La totalité des renseignements a été recueillie dans les statistiques des années 1972 et 1973 (Janvier-Février) à partir des fiches analytiques journalières.

Ces renseignements sont décomposés sur 24 heures en terme d'utilisation, réserve (engin disponible mais ne travaillant pas) et panne. La signification des statistiques est légèrement faussée par la nécessité de ces comptes rendus quotidiens pour les camions : par exemple, tout ce qu'on peut dire pour un camion c'est qu'il est tombé en panne x heures sur 8 heures de travail. Par contre, en ce qui concerne les pelles on sait à un instant donné quelconque ce que fait la pelle.

Les pannes très longues, pouvant s'étendre sur une année ont été exclues.

La durée de la fréquence des pannes sont considérées séparément.

La fréquence des pannes n'étant pas fonction du temps écoulé, il a fallu la modifier pour chacun des engins suivant le critère

- Camions/Tonnage chargé

- Pelles/Tonnage chargé

Quant aux durées des pannes, il a été nécessaire d'en ôter la durée des changements de poste.

D.4.3.8.1. Pannes des camions

a/ - Nombre de tonnes chargées entre deux pannes successives
TAB (10)

Table de répartition

(	500	2.000	3.600	5.600	7.200	8.800
(	12.000	16.000	20.800	31.500	70.000	

Moyenne 14.275

b/ - Durée de la panne camion en Dmh : TAB (9)

Table de répartition

(	0	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000
(	30.000	44.000	60.000	83.000	180.000	

Moyenne 38.200

.../...

D.4.3.8.2. Pannes des pelles

Pelle 61B/2

a/ - Tonnage chargé entre deux pannes successives : TAB (12)

Table de répartition

{	0	200	440	640	880	1.240	1.720
{							
{	2.860	4.400	5.600	7.200			

Moyenne 2.158

b/ - Durée de la panne en Dmh : TAB (11)

Table de répartition

{	0	3.000	6.000	9.000	11.000	14.000	17.000
{							
{	20.000	43.000	73.000	180.000			

Moyenne 28.600

Pelle 54/3

a/ - Tonnage chargé entre deux pannes successives : TAB (14)

Table de répartition

{	50	200	400	680	960	1.300	1.640
{							
{	2.040	2.600	4.000	6.000			

.../...

b/ - Durée de la panne en Dmh : TAB (13)

Table de répartition

{	0	3.000	6.000	9.000	11.000	14.000
{	17.000	22.000	42.000	60.000	180.000	

Moyenne 27.400

D.5. UTILISATION DU MODELE DE SIMULATION

D.5.1. Objectif premier

Au départ, on devait simuler le processus de transport et de gestion pour voir quelle était la meilleure politique de gestion du Skip et quelle était la meilleure affectation des engins entre les différents gradins. Mais, au fur et à mesure que s'élaborait le modèle on s'était aperçu que celui-ci pouvait être utilisé pour des objectifs totalement différents.

D.5.2. Objectifs induits

Le modèle élaboré est un modèle dynamique : suivant les données introduites ou les résultats recherchés nous pouvons agir sur lui et nous en servir donc pour d'autres objectifs que les objectifs initiaux. Nous allons voir justement les actions que nous pouvons exercer sur ce modèle.

.../...

D.5.2.1. Action au niveau des données

a/ - Paramètres géométriques

Ce modèle, comme nous l'avons maintes fois signalé, peut nous donner la meilleure politique et la meilleure affectation d'équipements correspondant à une situation géométrique donnée. Donc, si nous faisons varier ces situations, les résultats vont varier.

b/ - Paramètres techniques

On peut par exemple essayer les performances d'un matériel nouveau. On teste donc celui-ci en introduisant les tables de vitesse de déplacement à vide et à plein, des temps de manoeuvre à la pelle et à la recette etc. On fait la même chose avec l'ancien équipement, puis on compare les résultats.

Nous mêmes, nous avons constaté que l'une des pelles testées tombait souvent en panne. Pour éliminer son influence sur l'objet de l'étude, nous l'avons éliminée. Le Chef d'Exploitation peut faire des tests de ce genre pour voir si un engin quelconque remplit assez bien ses fonctions au sein de l'Exploitation ou non.

D.5.2.2. Action au niveau des résultats

Nous avons calculé et donné en résultats :

- les taux d'utilisation et de disponibilité de chaque engin et du Skip ;

.../...

- les temps opératoires des différents engins en considérant, les temps de panne , d'attente, de travail et leur total ;
- les rendements du Skip et des différentes recettes ;
- les longueurs moyennes des files d'attente au niveau de chaque recette etc.

Mais d'autres éléments auraient pu être calculés aussi suivant l'objectif qu'on s'est assigné.

D.5.3. Utilisation du modèle dans des modèles plus vastes

D.5.3.1. Utilisation au niveau du quartier

Ce modèle peut simuler le transport du minerai des différents gradins au concasseur.

Or un modèle plus général peut être écrit au niveau du quartier qui comprendra :

- un modèle d'exploitation à élaborer ;
- un modèle de transport déjà élaboré.

D.5.3.2. Utilisation au niveau des trois quartiers :

Chagoura, Zerga, Sainte Barbe

On sait que la capacité du concasseur primaire actuelle où se déverse le minerai de Chagoura est de l'ordre de 1.200 T/H

Or, à ce concasseur on pourra déverser, dans le futur, le minerai de Zerga et une partie du minerai de Sainte Barbe.

Par conséquent, deux modèles simulant l'exploitation et le transport du minerai de ces deux quartiers vers le concasseur, peuvent être élaborés.

La capacité du concasseur sera alors :

- soit une contrainte, si on refuse de (on ne peut pas) l'agrandir ;

- modifiée et ne sera plus considérée comme une contrainte si on décide d'investir pour modifier le concasseur ou en ajouter un autre juste à côté.

Pour le premier cas, les 3 modèles simulant les trois quartiers vont être liés au niveau du concasseur.

Mais, une troisième éventualité peut se présenter, celle de construire un autre concasseur. Le lien entre les trois modèles sera alors "déplacé" au niveau de la bande, au niveau du concasseur secondaire, au niveau du stockage ou ailleurs.

D.5.3.3. Utilisation au niveau de la mine

Evidemment, on peut écrire un modèle au niveau de la mine et qui englobera tous les modèles existants. Mais une telle initiative, à notre avis, ne peut être entreprise que si on ne peut faire autrement, car un modèle a pour but de simplifier une réalité complexe. On n'écrit pas un modèle pour le plaisir, mais par nécessité. Au niveau de la mine, il faudrait au contraire essayer d'émettre des hypothèses permettant de considérer, ce qui sera faux d'une façon générale, chaque modèle comme une partie isolée.

D.5.4. Limites du modèle

D.5.4.1. Limites relatives

On appellera limites relatives, toutes les contraintes qui peuvent être facilement supprimées par une légère modification du modèle.

Dans notre modèle ces limites sont :

1/ - on suppose que le parc des engins est homogène. Il n'existe qu'un seul type de camion et deux types de pelles seulement

2/ - on a supposé que le Skip ne tombait jamais en panne. En réalité, il est souvent à l'arrêt à cause des installations en aval. Les moteurs existants sont insuffisants pour faire circuler normalement la bande du convoyeur. Il faudrait donc ajouter un autre. On nous a assuré que c'était à l'étude et que cela allait être fait incessamment.

De plus, on ne possède aucune statistique sur les pannes du Skip. Mais, dans un proche avenir, dès que le moteur sera installé, on pourra modifier le modèle par introduction des pannes du Skip. A ce moment, les statistiques seront assez élaborées pour être exploitables.

3/ - Dès qu'on tiendra compte des pannes du Skip, il faudrait introduire le problème des stocks. En effet, les camions ne pouvant pas décharger aux recettes iront déverser, si la durée de panne est courte, au voisinage de la recette, sinon, en un endroit aménagé de façon à recevoir un stock important.

Dès que le Skip aura été réparé, on affectera une pelle au stock et celui-ci peut être alors assimilé à un gradin.

4/ - On n'a pas tenu compte du tir et de la foration mais ceci peut être facilement introduit dans le modèle.

5/ - Actuellement, il n'existe que des camions de 25 T mais on peut introduire des camions de 50 T. Un seul camion suffira alors à remplir la benne du Skip.

D.5.4.2. Limites absolues

Un tel modèle ne peut être utilisé pour simuler la vie entière de l'exploitation, mais des "points" seulement. Mais, il peut par contre être introduit dans un modèle plus vaste qui engloberait l'exploitation et le transport.

D.6. CALCUL DES COÛTS D'EXPLOITATION

D.6.1. Généralités

Les coûts d'exploitation ne prennent en compte que les dépenses effectives de fournitures consommées dans l'année, à l'exclusion des investissements.

Ces coûts d'exploitation comprennent donc essentiellement les coûts de transport et de chargement en incluant les dépenses de main-d'oeuvre, les fournitures (fuel, électricité, huile) et l'entretien des engins.

Dans notre étude on a considéré que l'ensemble du quartier de Chagoura est équipé de camions Euclid R35 et que les coûts relatifs aux différentes pelles qui existent sont identiques.

D.6.2. Les coûts élémentaires

Les coûts élémentaires désignent les coûts d'exploitation à l'unité.

D.6.2.1. La main-d'oeuvre : c'est le salaire horaire brut

- le conducteur de camion : 12,60 DA/H
- l'orientateur chargé de guider
les manoeuvres des camions 4,60 DA/H
- le conducteur de pelle : 8,40 DA/H
- l'opérateur du Skip : 12,60 DA/H
- manoeuvre dans la cabine
de l'opérateur du Skip : 4,60 DA/H.

2.2. Fournitures (énergie essentiellement)

2.2.1. Camions

- Dépenses proportionnelles au taux d'utilisation :
- Dépenses proportionnelles au taux de disponibilité : 5,08 DA

Pelles

- Dépenses proportionnelles au taux d'utilisation : 30,00 DA
- Dépenses proportionnelles au taux de disponibilité : 7,29 DA

Skip

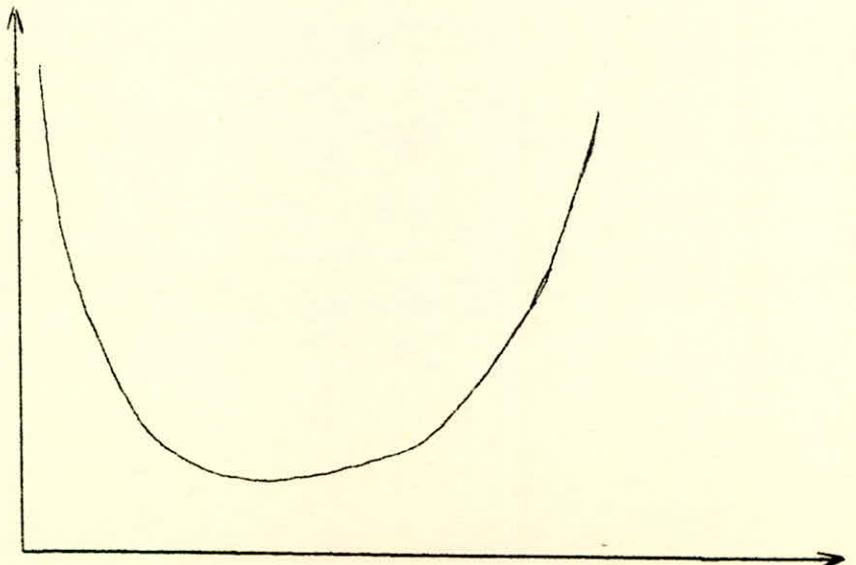
- Dépenses proportionnelles au taux de disponibilité : 50,00 DA

Recette

- Coût horaire d'ouverture d'une recette : 14,40 DA

A l'aide de ces coûts il s'agit de calculer le coût de revient de la tonne rendue au concasseur pour différent rendement du Skip afin de construire ce type de courbe.

Prix de revient
du transport/tonne



Rendement en tonnes
par heure du Skip

Cette courbe est caractéristique d'un équipement et d'une politique d'exploitation dans le cas d'ouverture de plusieurs recettes. Dans le cas d'ouverture d'une seule recette, la politique d'exploitation n'intervenant pas cette courbe est caractéristique d'un équipement.

Dans le cas d'ouverture d'une seule recette cette courbe nous renseigne sur une affectation rationnelle des engins à la recette de façon à avoir un coût de transport optimum.

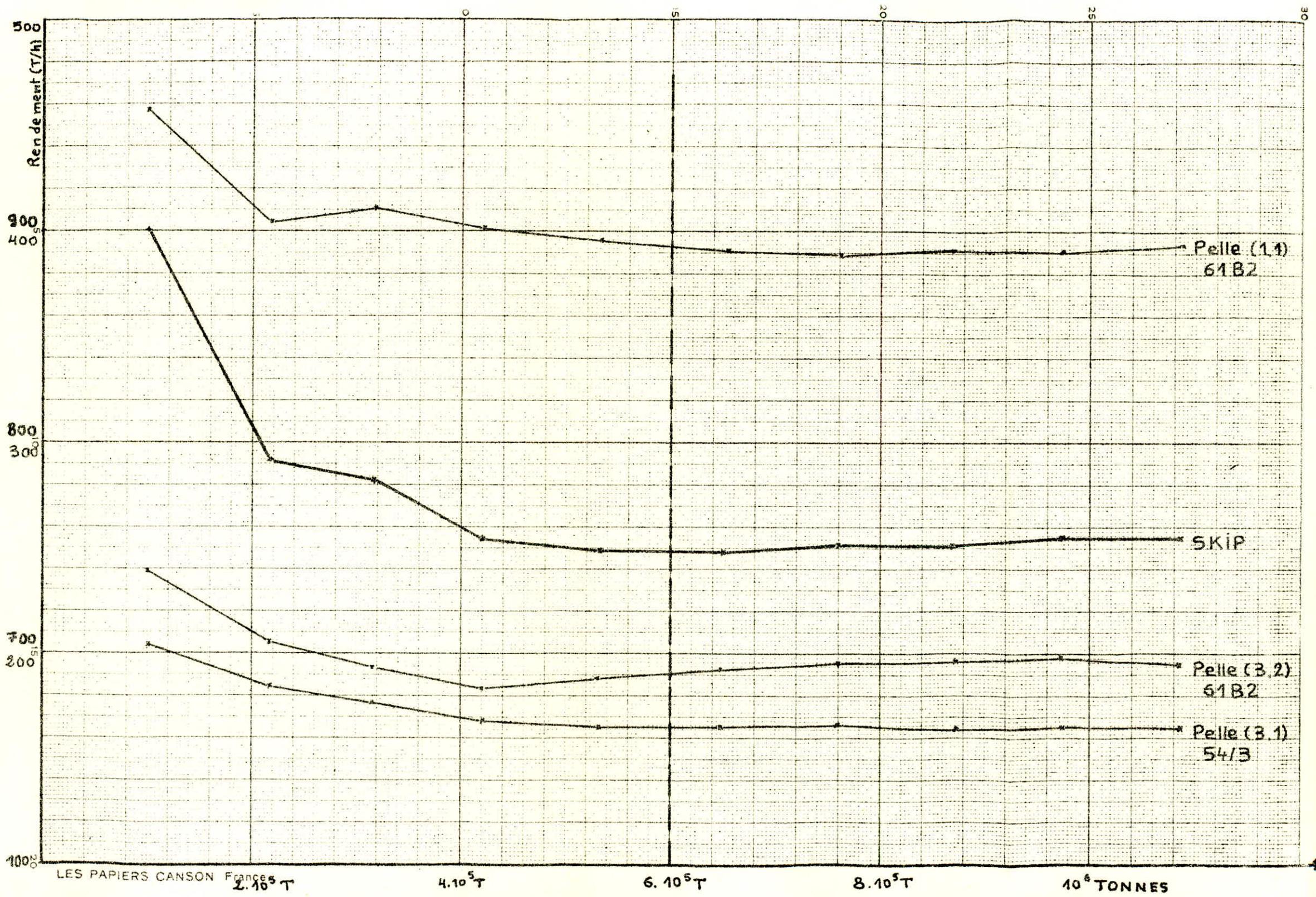
Dans le cas d'ouverture de plusieurs recettes cette courbe (qui est l'enveloppe de plusieurs courbes identiques à celle d'une seule recette) nous renseigne sur l'organisation à adopter et sur la meilleure affectation d'engins à ces différentes recettes.

D.7. DUREE MINIMUM DE LA SIMULATION

Les résultats de la simulation ne commencent à être vraiment représentatifs de la réalité qu'à partir du moment où les phénomènes aléatoires commencent à s'amortir. Donc on ne pourra arrêter la simulation qu'à partir du moment où la valeur de chaque paramètre sera suffisamment stable. Pour connaître ce "point de signification" des résultats il suffit de retenir quelques paramètres de contrôle.

Ici on a retenu les rendements de la pelle 61B/2, du Skip, de la pelle 54/3.

On voit sur le graphique ci-après que les phénomènes aléatoires commencent à s'amortir à partir de 600.000 tonnes.



E. LES RESULTATS DES TESTS DE SIMULATION ET LEUR ANALYSE

E.1. Résultats

Pour ne pas alourdir le rapport, nous avons présenté les résultats en annexe, sous forme de catalogue.

Nous avons mis en évidence :

- le rendement du skip
- le rendement des différentes recettes
- le type de pelle utilisée à chaque gradin
- les taux d'utilisation et de disponibilité des différentes pelles, du skip et de l'ensemble du parc de camions de chaque gradin.

Pour éliminer l'influence de la pelle de type 3 qui tombe souvent en panne, sur l'objet même de l'étude qui consiste à déterminer la meilleure répartition des engins, nous l'avons enlevée des tests.

Comme nous avons, pour les résultats "techniques" ci-dessus donnés par la simulation, programmé en même temps le calcul du coût de revient à la tonne, nous avons donné, avec chaque résultat de test, le coût.

.../...

E.2. Analyse des résultats

E.2.1. Ouverture d'une seule recette

Dans le cas d'une seule recette, nous n'avons pris qu'une seule politique, la politique 2,3,1. Ceci s'explique par le fait que dans le cas d'une seule recette la politique n'intervient pas (voir chapitre C).

Nous n'allons donc considérer que la repercussion des équipement sur les résultats et ceci pour chaque situation géométrique.

Du fait que les politiques n'interviennent pas, toutes les courbes théoriques envisagées en A2 n'en forment qu'une seule et se confondent donc en leur enveloppe.

E.2.1.1. Recette 4

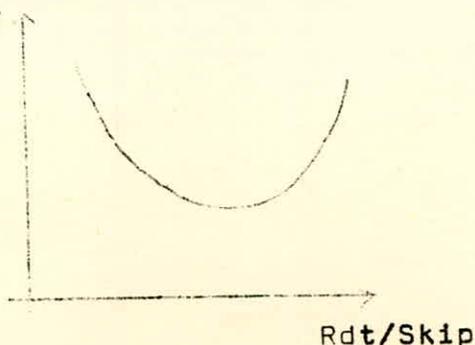
a) influence des équipements et de la structure géométrique

a1) Constatations

Pour une situation géométrique donnée, faisons varier les équipements. Et, pour chaque cas, calculons le rendement horaire du skip et le coût à la tonne rendue au concasseur.

Traçons alors la courbe $\text{coût}/T = f(\text{rdt}/\text{skip})$

Nous remarquons que nous obtenons pour la recette 4 (graphe IV.1 des courbes du genre :



Chacune des courbes est relative à l'ouverture d'un certain nombre de gradins ayant des distances données par rapport à la recette 4. Nous avons pris les distances suivantes :

{	300 m	{	800 m	{	300 m	{	300 m
	800 m		1400 m		1400 m		800 m	1400 m

correspondant à l'ouverture de 2 et 3 gradins.

Nous remarquons dans chaque cas, qu'une augmentation du nombre de camion ou une meilleure répartition fait d'abord décroître le coût/T tout en augmentant le rendement, mais qu'à partir d'un certain moment si le rendement continue à augmenter, le coût à la tonne augment plus vite encore.

a2) Justifications

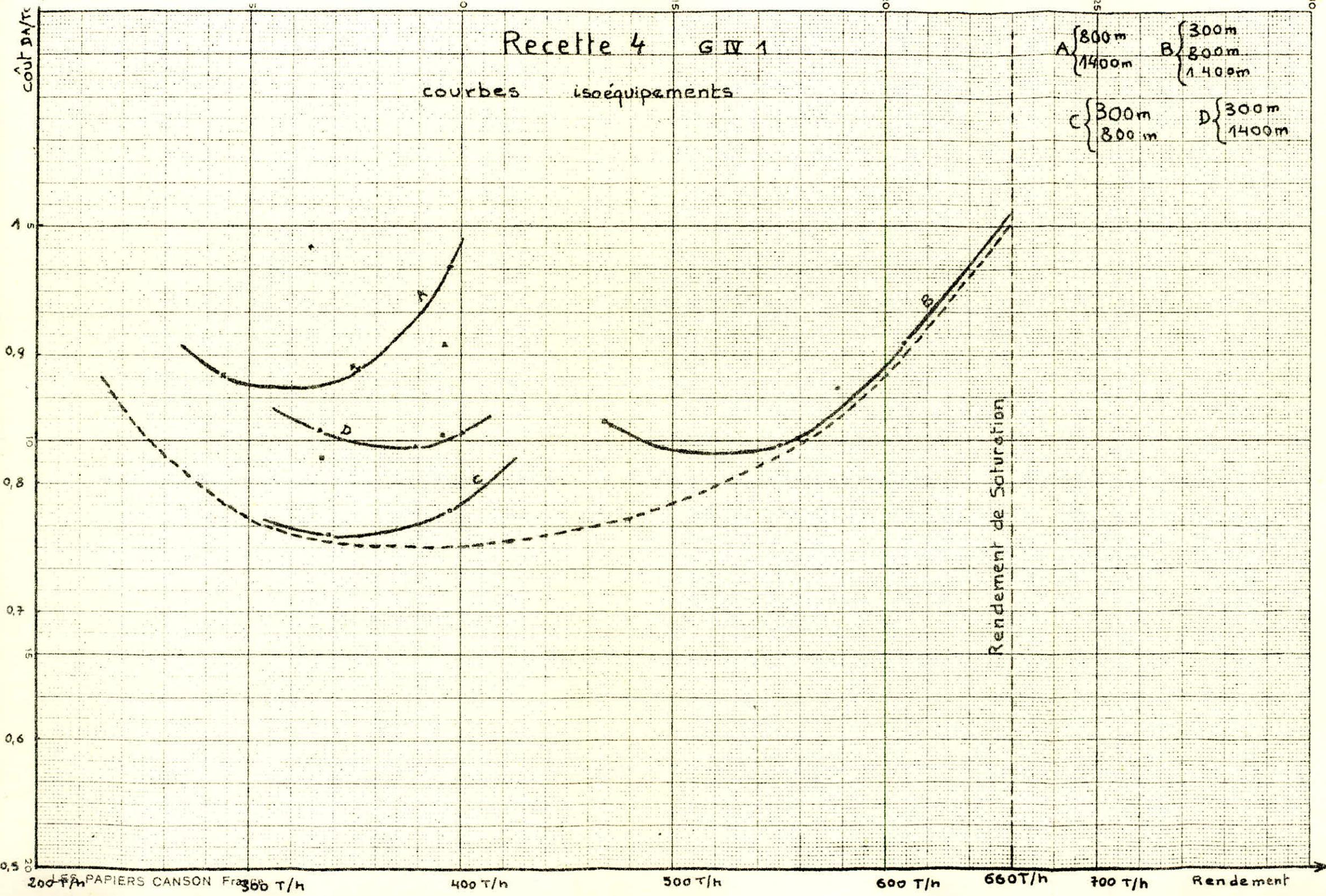
Quand on n'emploie pas assez d'engins le skip et la pelle sont sous utilisés et, pour un faible rendement du skip, correspond un grand coût. Mais l'adjonction d'un nombre supérieur de camions bien répartis entre les différents gradins va faire, non seulement accroître le rendement car les attentes du skip et de la pelle sont plus faibles, mais, par voie de conséquence va faire décroître le coût/T.

Mais, évidemment, si on augmente trop les camions, c'est ceux-ci qui seront sous-utilisés et même si le rendement augmente (de façon non rapide d'ailleurs car on approche du rendement de saturation de la recette) le coût/T va augmenter car il y aura trop d'équipements ou une trop mauvaise affectation.

Recette 4 G IV 1

courbes isoéquipements

A { 800m
1400m } B { 300m
800m
1400m }
C { 300m
800m } D { 300m
1400m }



a3) Conséquences

Le chef d'exploitation va se placer sur la courbe relative aux gradins qu'il a ouverts à la recette 4 et les distances de ces gradins à la recette.

Ensuite, il cherchera à déterminer le point qui satisfait le mieux les objectifs qu'il s'est fixés.

Ce point peut être déterminé de deux façons différentes :

- Par un calcul des dépenses actualisées. Dans ce cas, le chef d'entreprise cherchera évidemment à se placer sur le point qui correspondra à la dépense actualisée minimum ou qui s'en approchera si ce point ne peut être atteint.

- D'autres facteurs extra-économiques peuvent intervenir dans la détermination du point optimum. Les facteurs peuvent être :

- sociaux : un plus grand rendement ou un plus grand équipement compatible avec un coût fixé à l'avance implique l'emploi de beaucoup de gens.

On peut aussi dans ce cas, au contraire, rechercher le rendement le plus bas possible de façon à augmenter la durée de vie de l'exploitation. En effet, un arrêt de l'exploitation implique la "mort" de toute la région d'Ouenza etc....

- politico-économiques : l'Algérie voulant être indépendante sur le plan de l'approvisionnement et, devant desservir alors toutes les régions industrielles de son territoire avec son propre minerai, cherchera à se placer au point qui permettra un tel objectif, même si ce point correspondra à un déficit etc....

b) Taux d'utilisation

b1) Constatations

Reprenons maintenant les résultats et traçons pour la recette 4, le taux d'utilisation en fonction du rendement du skip G.IV.2)

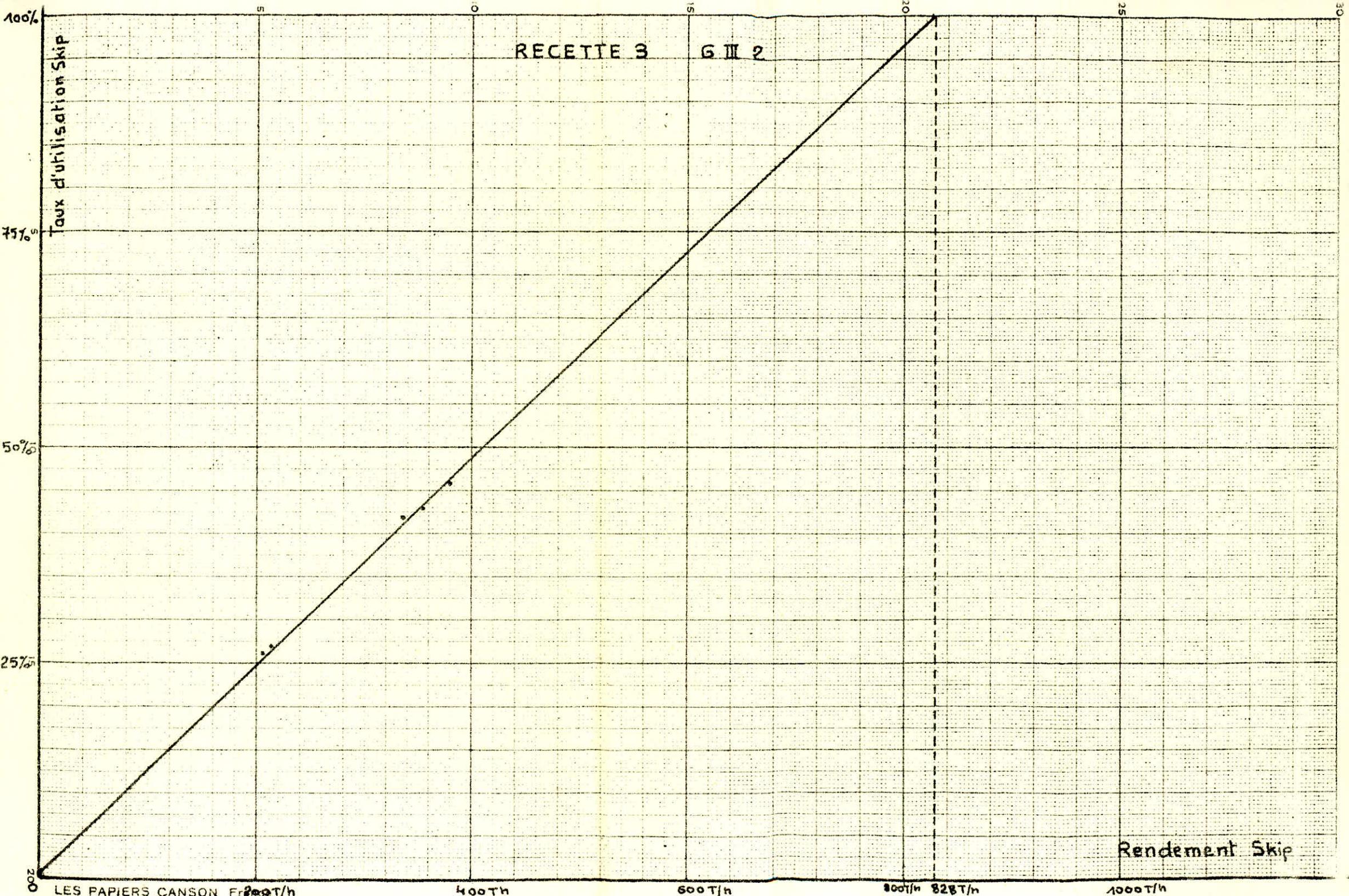
Nous remarquons que nous obtenons des points alignés qui nous permettent de tracer une droite et de conclure donc que le taux d'utilisation (TU) est une fonction linéaire (approximativement bien sûr) du rendement du skip. En outre, le rendement maximum du skip est de 728 T/H alors que, théoriquement, il est de 760 T/H.

b2) Justifications

Il va de soit qu'une augmentation de TU fait augmenter le rendement du skip. Et on constate graphiquement qu'on peut approximer ceci par une fonction linéaire. Essayer de justifier ceci serait à notre avis une absurdité. La plupart des lois physiques ont été trouvées de façon empirique. Et toutes ces lois ne sont que des approximations de la réalité complexe, et approchent plus ou moins bien des lois idéales.

En outre, si on fait un calcul théorique du rendement du skip, quand il est utilisé à 100 % on trouve 760 T/H car on suppose que la benne, arrivée à la recette 4, décharge simultanément deux camions à la fois.

En réalité, il lui arrive de le faire en deux fois, donc perte de temps et le skip est alors utilisé pendant plus de temps pour décharger le même tonnage, c'est à dire 50 T, ce qui diminue son rendement.



RECETTE 3 G II 2

Rendement Skip

LES PAPIERS CANSON Fr 200 T/h

400 T/h

600 T/h

800 T/h 828 T/h

1000 T/h

100%

75%

50%

25%

200

25

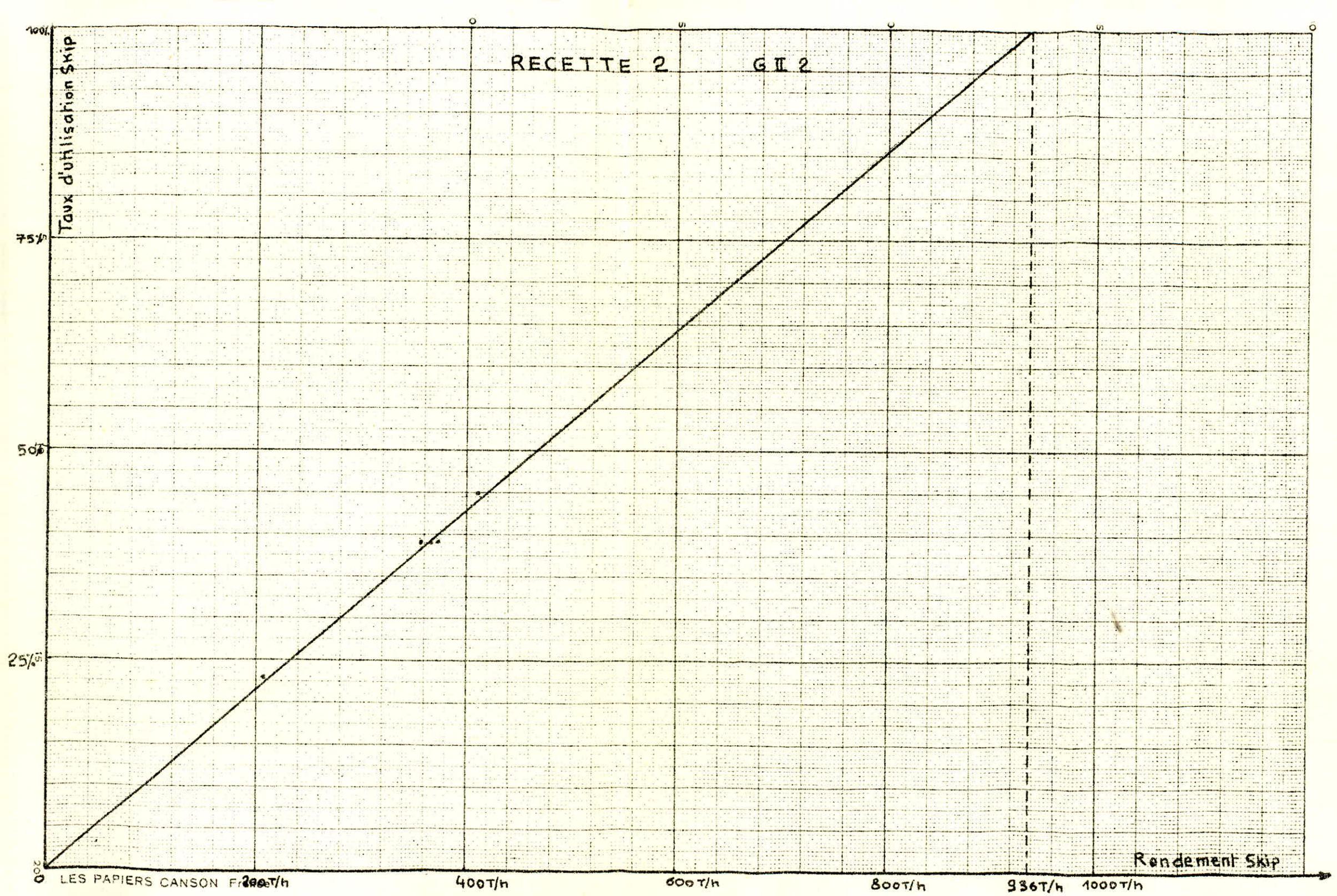
50

75

100

125

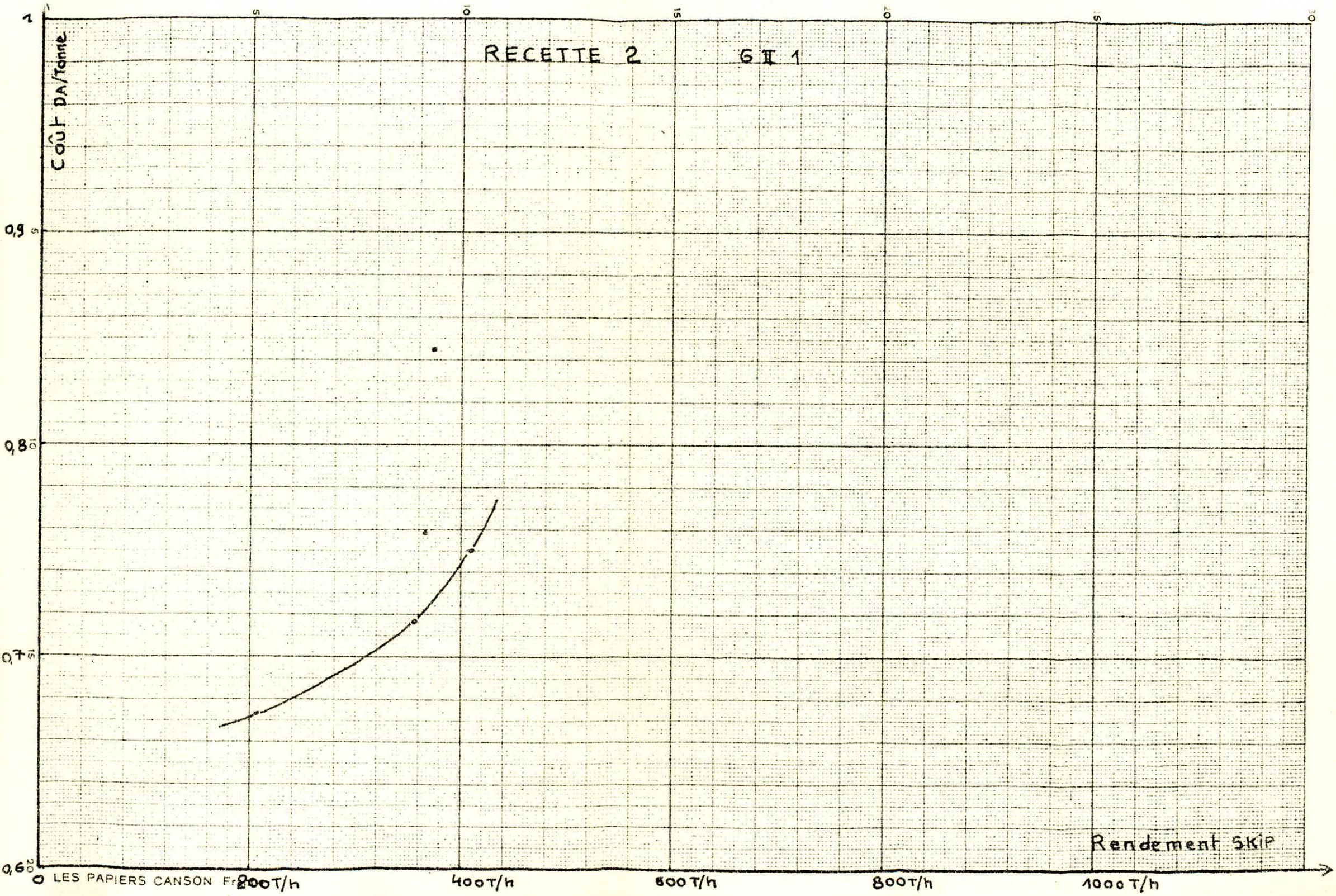
150



RECETTE 2

GI 1

COUT DA/Tonne



LES PAPIERS CANSON Fr 200T/h

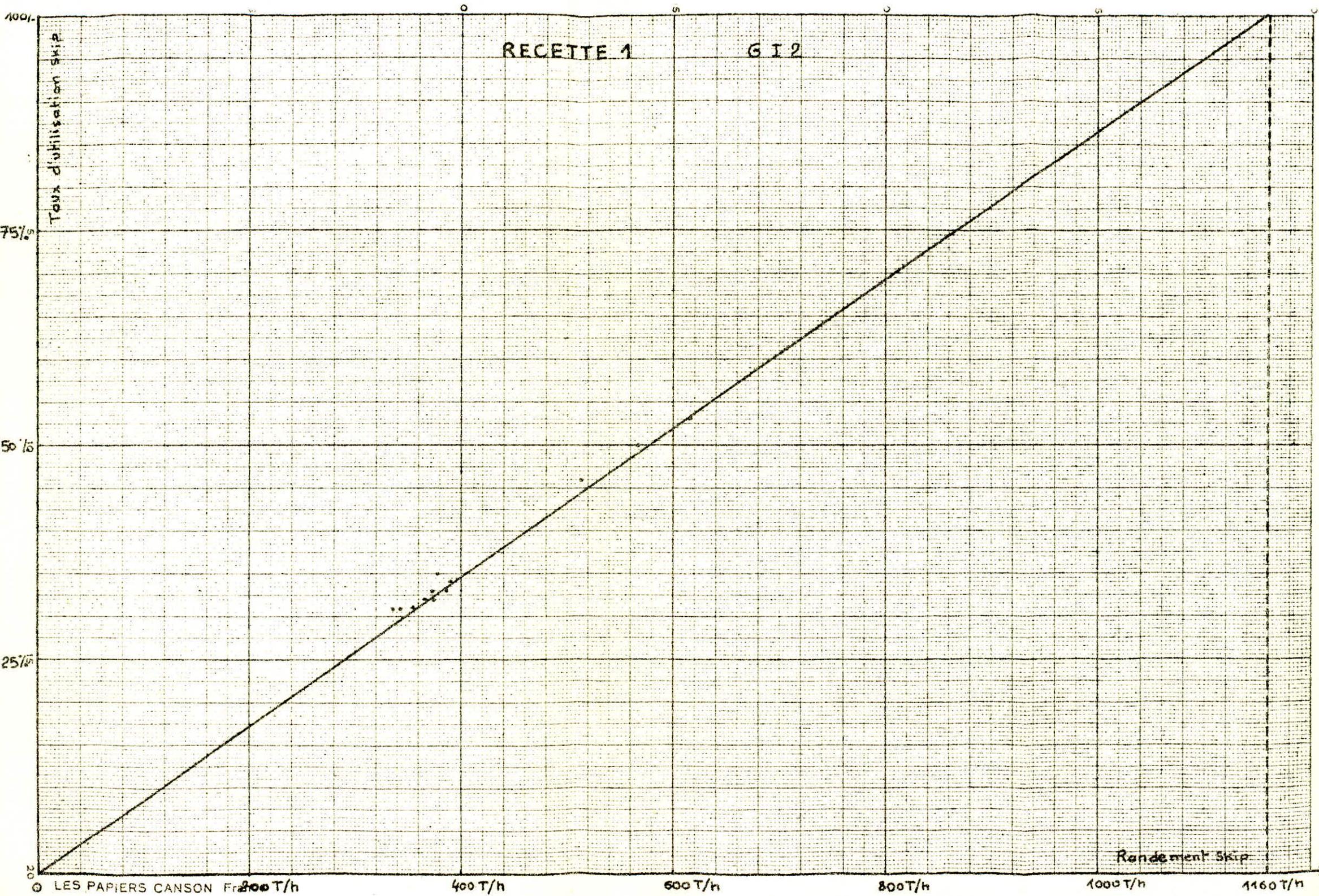
400T/h

500T/h

800T/h

1000T/h

Rendement SKIP



LES PAPIERS CANSON Fr 200 T/h

400 T/h

600 T/h

800 T/h

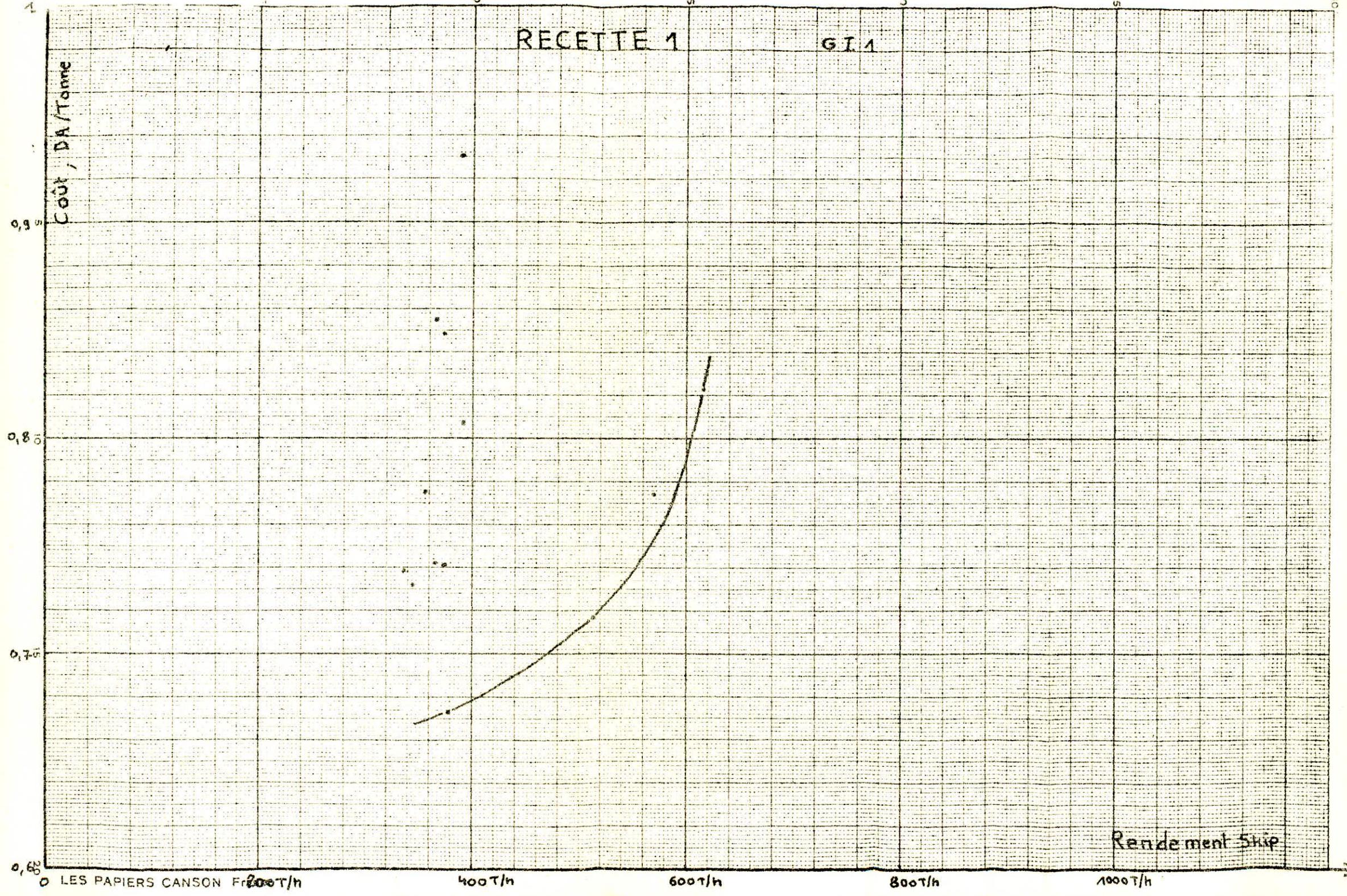
1000 T/h

1160 T/h

RECETTE 1

GI.1

Coût, DA/Tonne



Rendement Ship

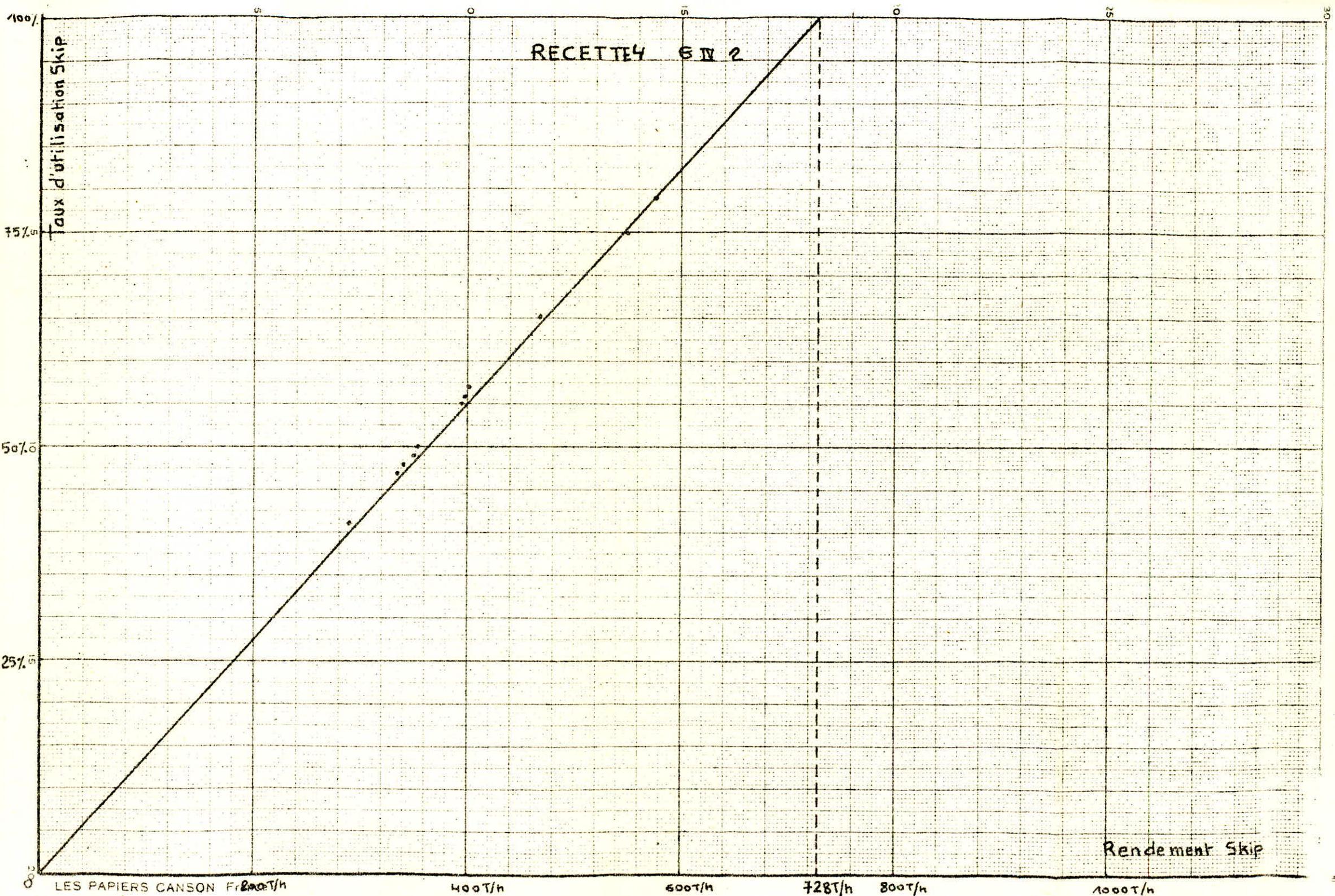
LES PAPIERS CANSON Fr 200T/h

400T/h

600T/h

800T/h

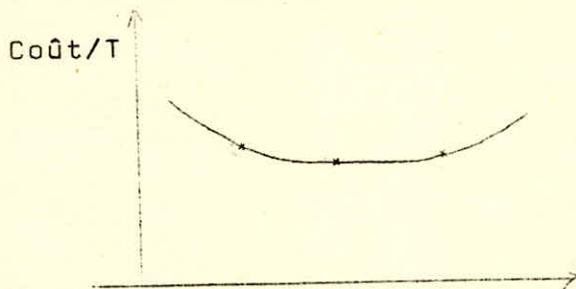
1000T/h



b1) Constatations

Nous constatons que pour une même politique un changement de la situation géométrique entraîne une variation des résultats.

Les courbes obtenues ont la forme suivante :



b2) Conséquences

Rdt/Skip

Nous tirons les mêmes conclusions que pour a/.

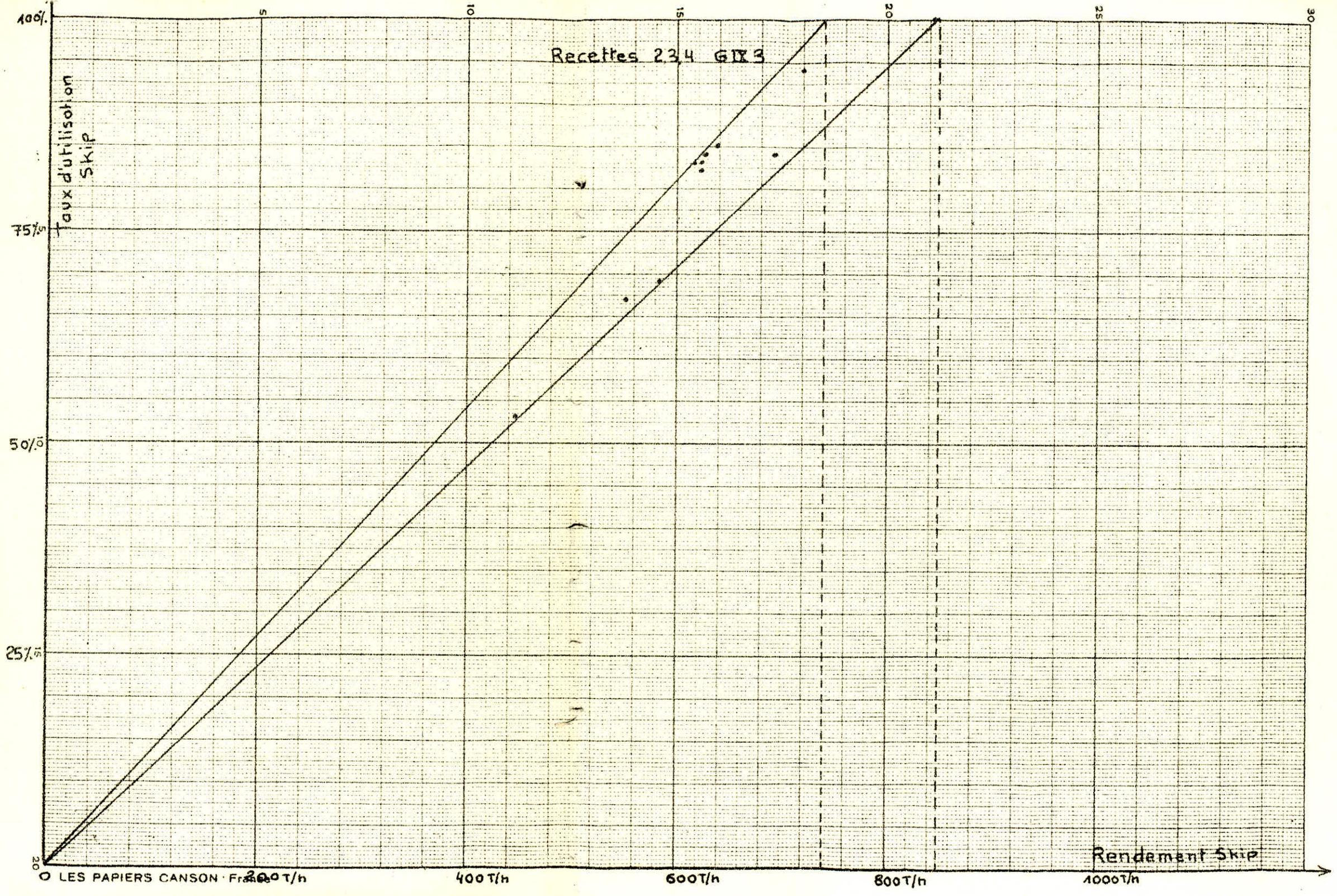
c) Taux d'utilisation

Pour le cas de deux recettes ouvertes, nous constatons que, si nous traçons les points donnant le taux d'utilisation en fonction du rendement, nous obtenons des points non linéaires. (GVII.3).

Ces points ne se répartissent ^{pas} de façon quelconque mais s'insèrent entre deux droites. Ceci s'explique par le fait que pour une situation donnée le taux d'utilisation s'exprime, approximativement, linéairement en fonction du rendement du skip. Pour une situation très proche, nous obtenons le même résultat. Si nous traçons les droites relatives à des situations différentes nous obtenons ainsi un faisceau de droites inscrits à l'intérieur des droites précédemment tracées (GVII.3).

E.2.2.2. Cas général : ouverture de plusieurs recettes

Si nous faisons le même travail pour le cas de 3 ou 4 recettes ouvertes nous dégagerons exactement les mêmes résultats. (graphes GV, GVI, GVII et GIX).



LES PAPIERS CANSON · Fr. 200 T/h

400 T/h

600 T/h

800 T/h

1000 T/h

Rendement Skip

Taux d'utilisation Skip

100%

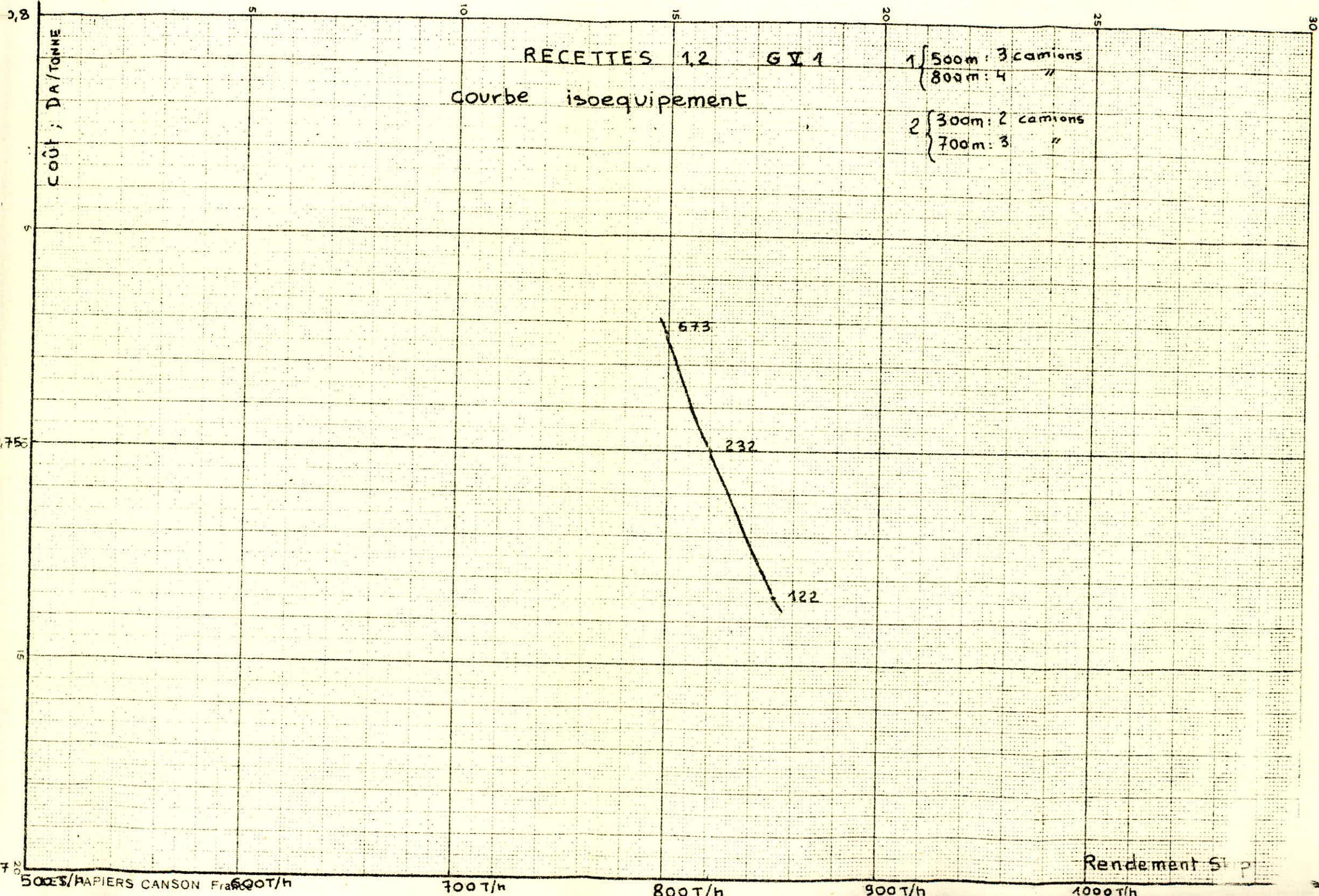
75%

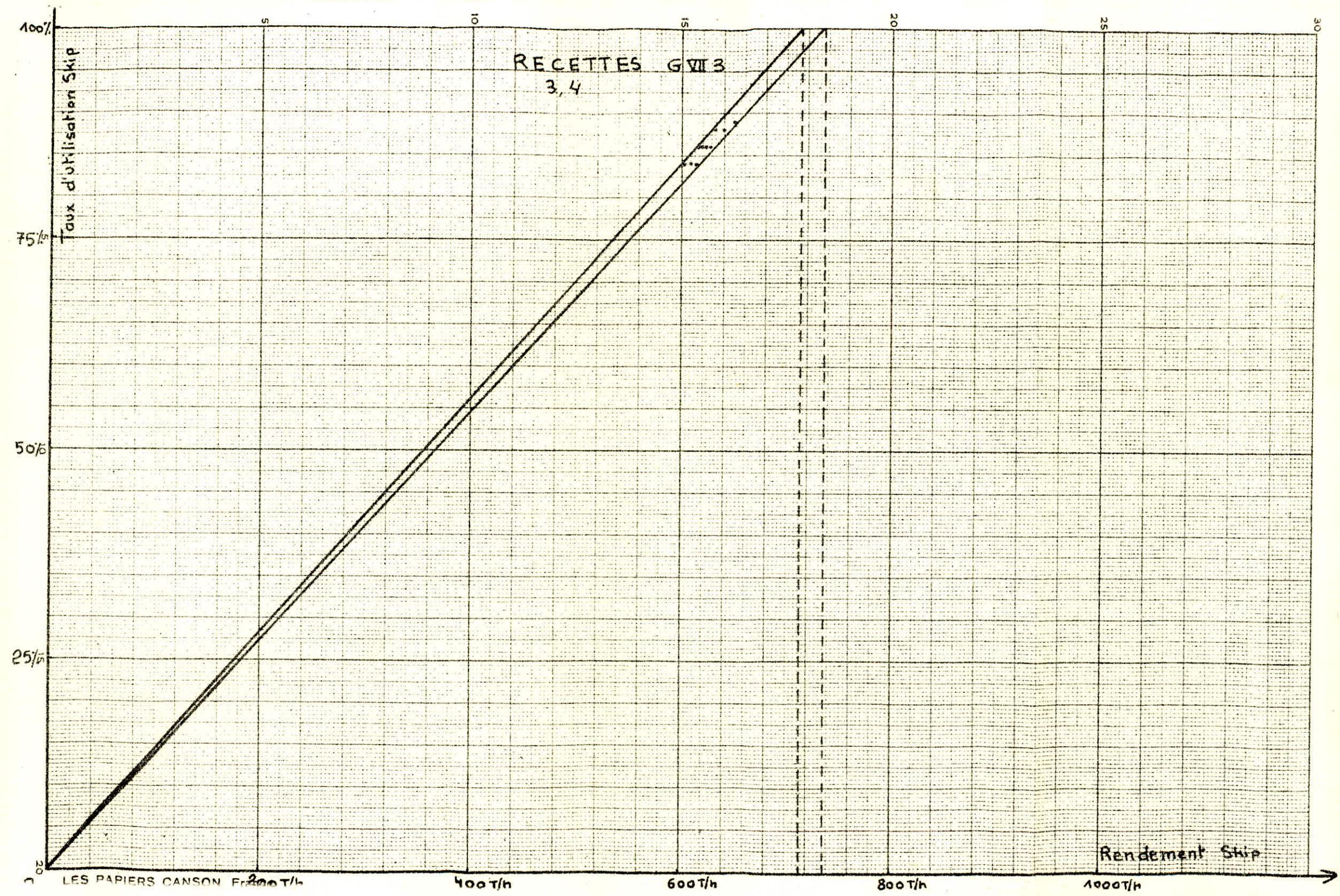
50%

25%

0

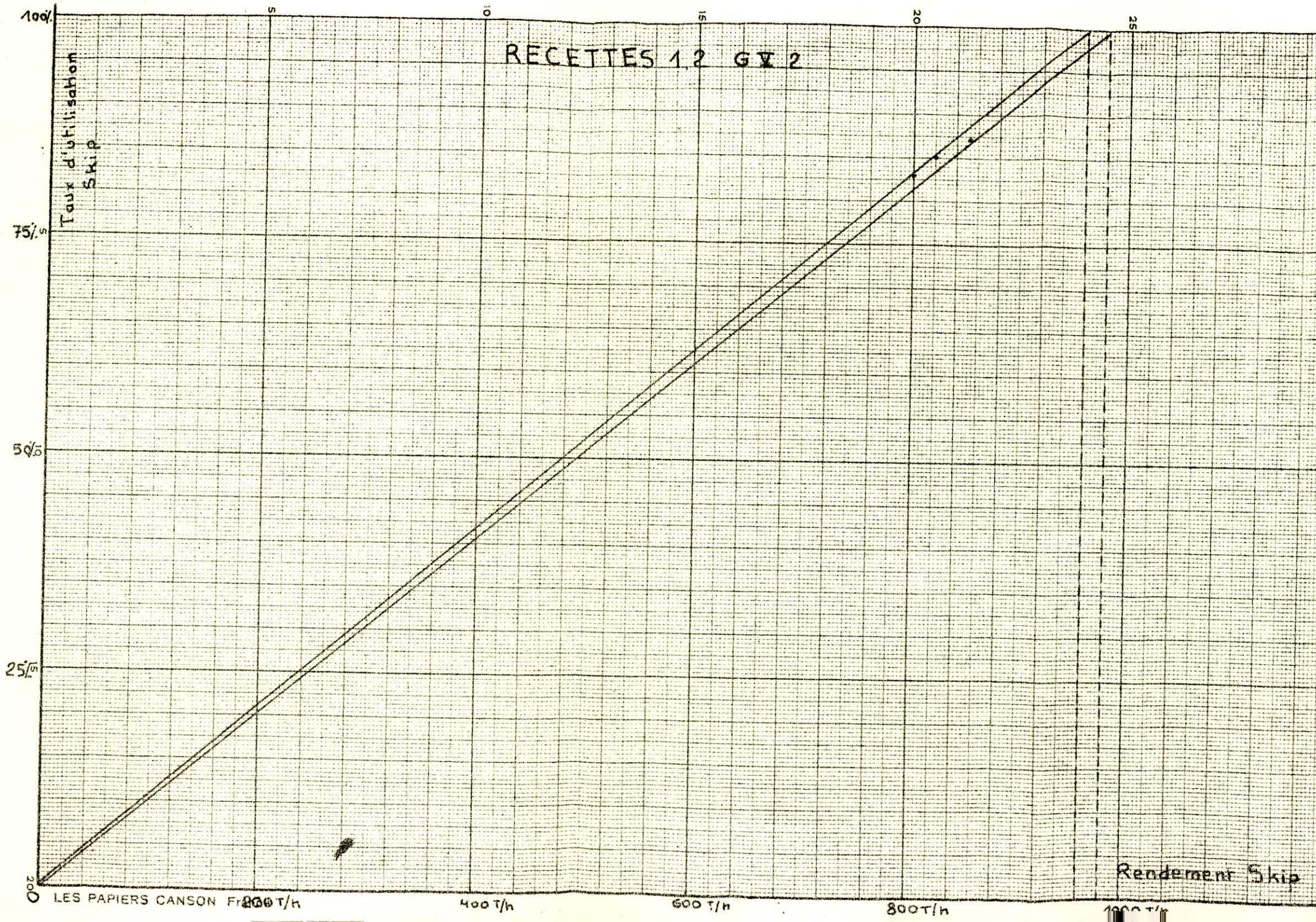
30





RECETTES 1.2 GV 2

Taux d'utilisation
Skip



Rendement Skip

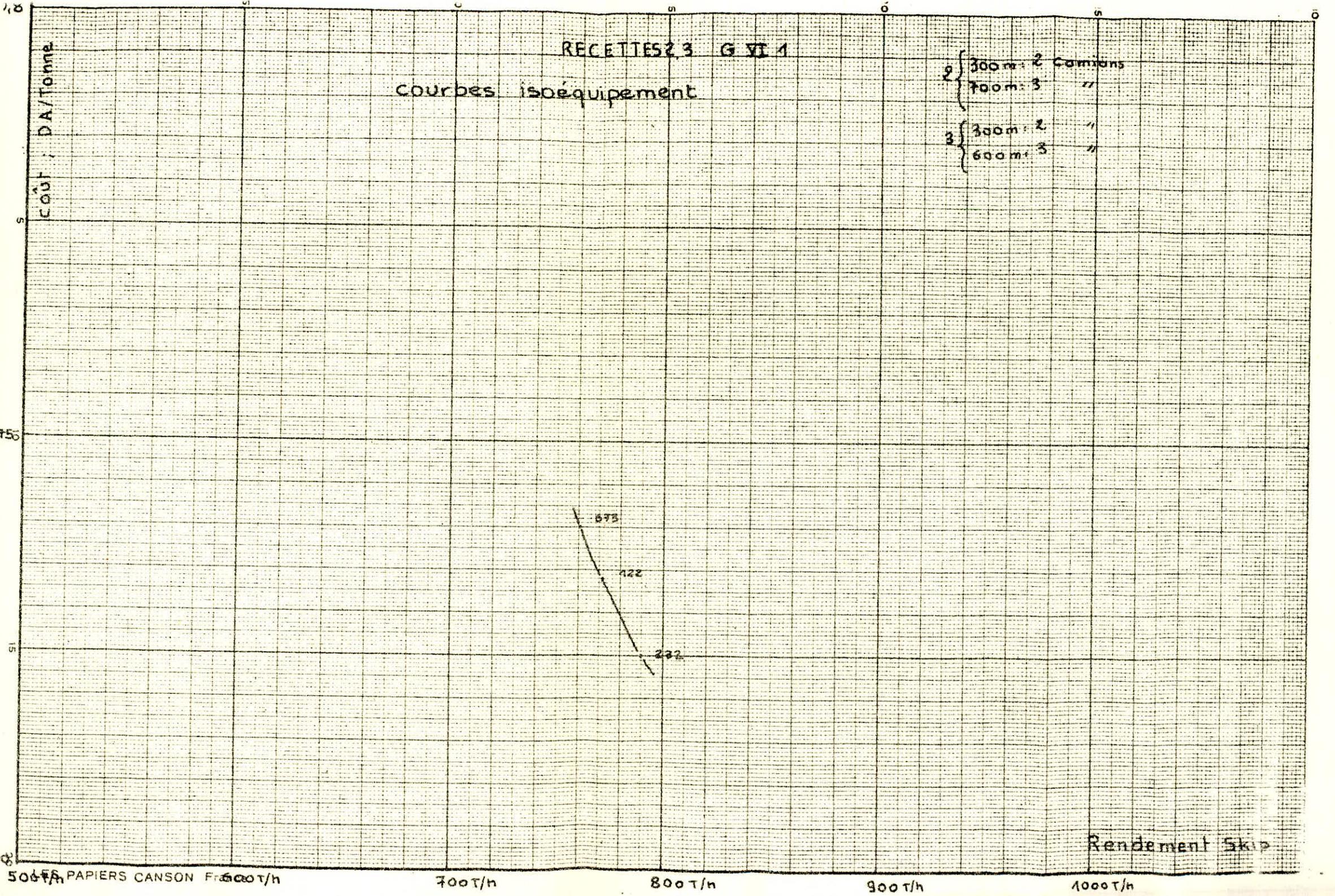
LES PAPIERS CANSON Fr 200 T/h

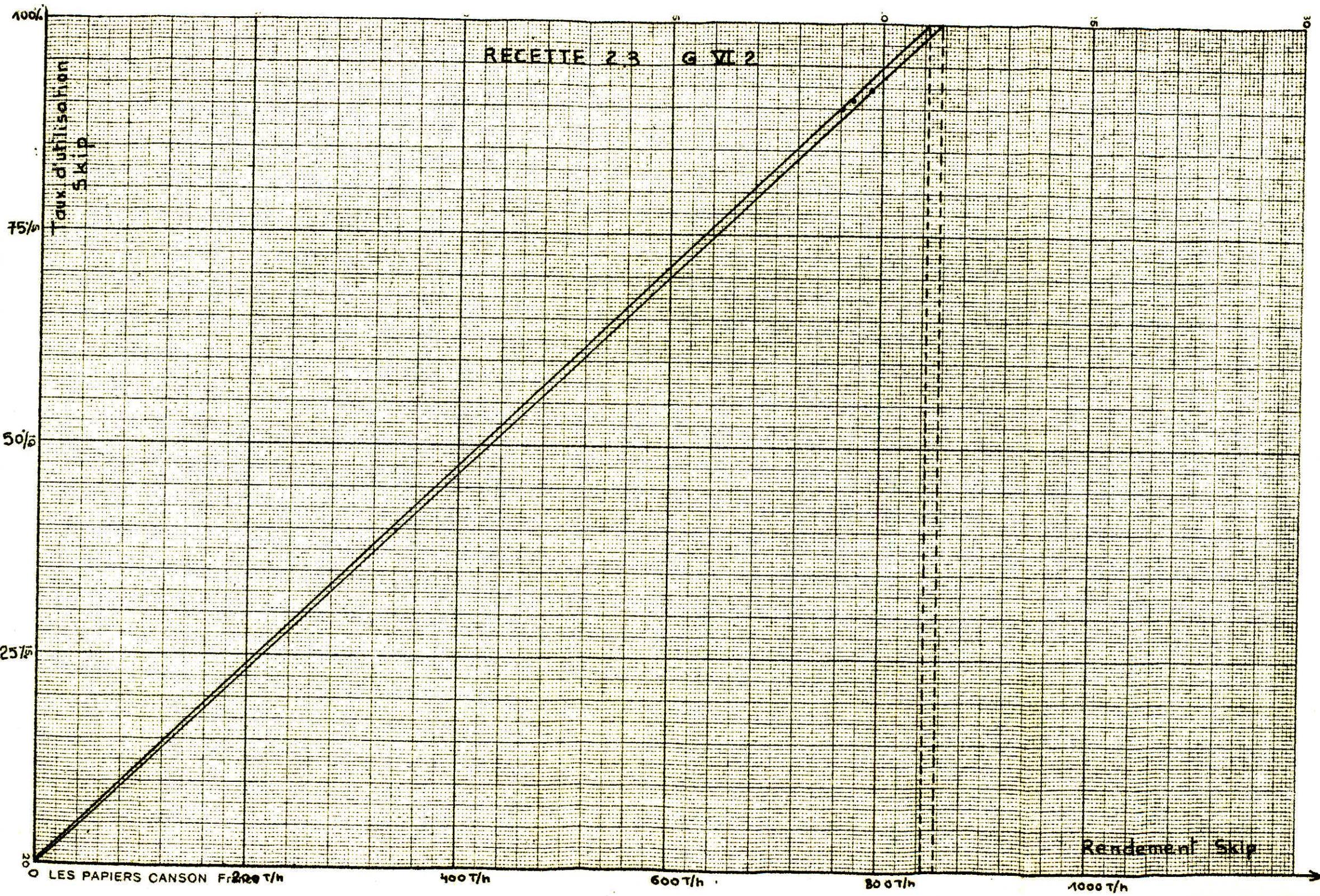
400 T/h

600 T/h

800 T/h

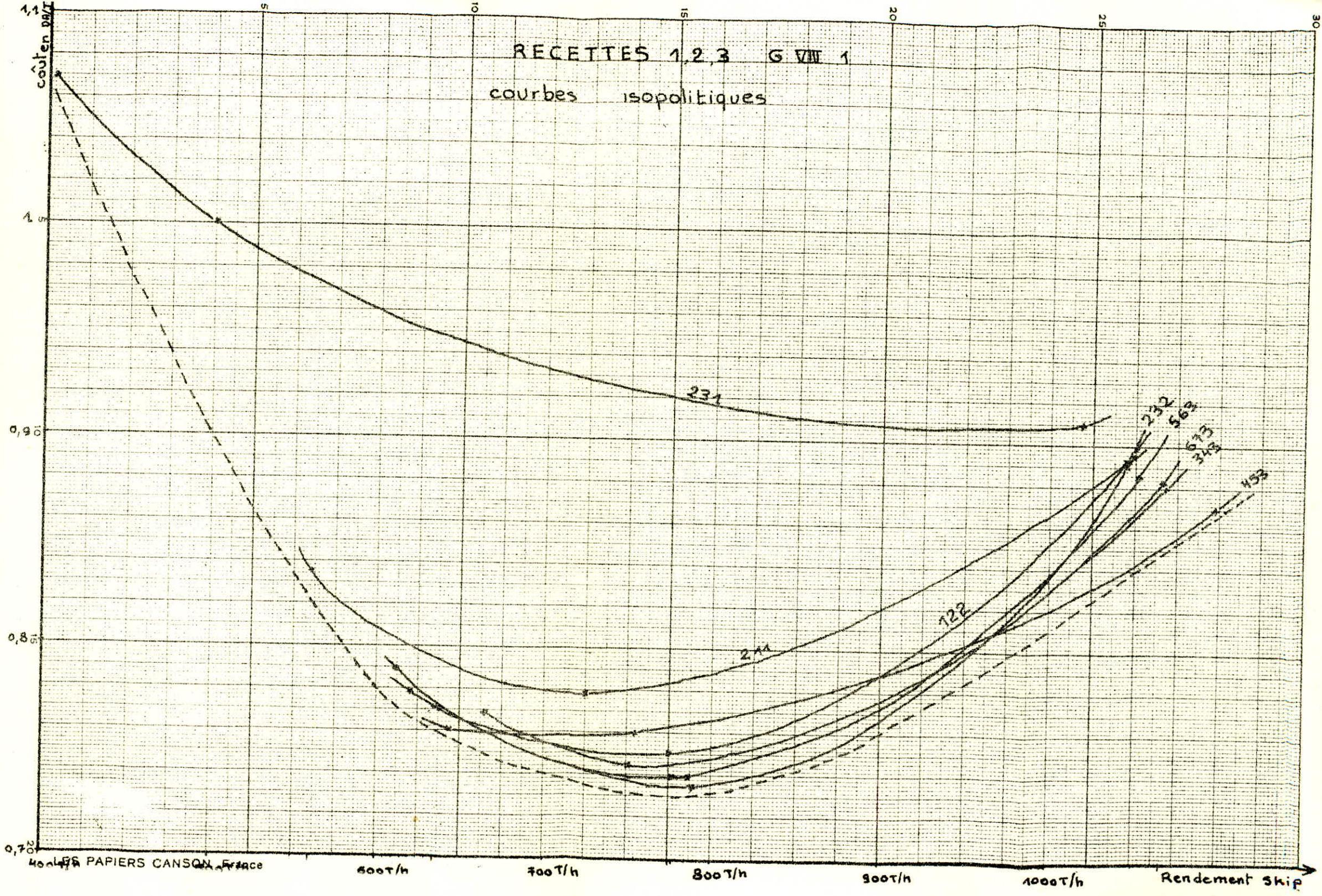
1000 T/h





RECETTES 1, 2, 3 G VIII 1

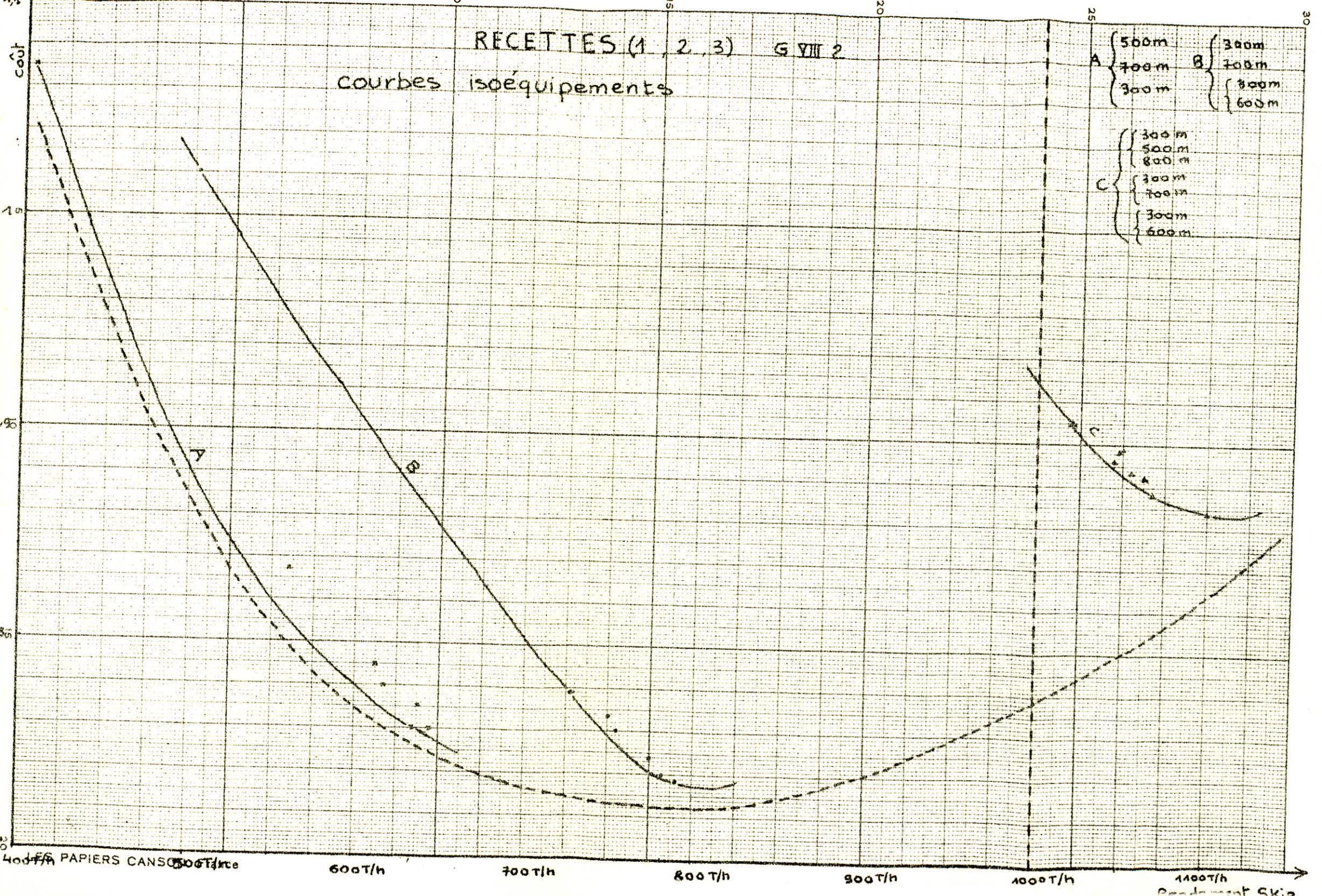
courbes isopolitiques

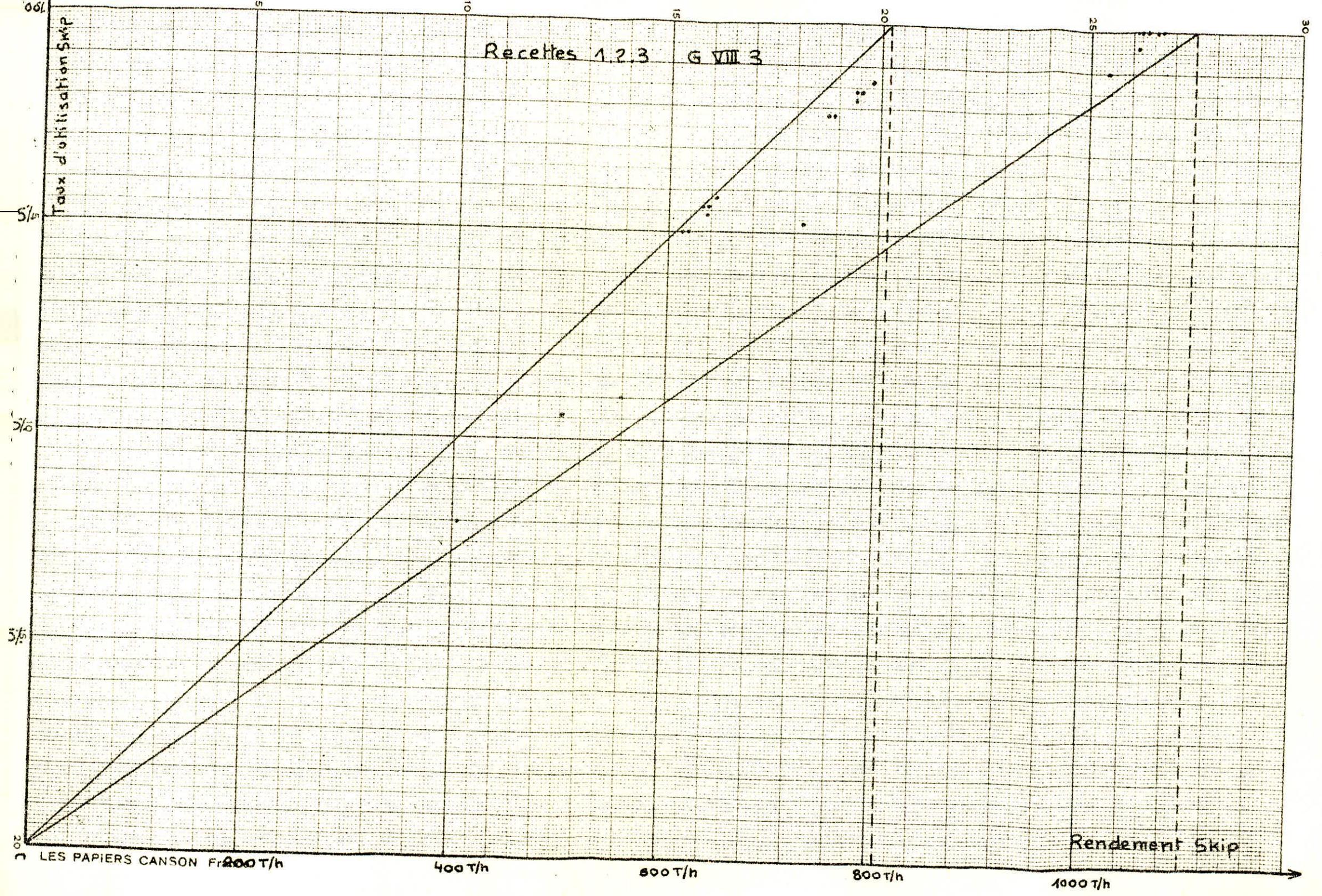


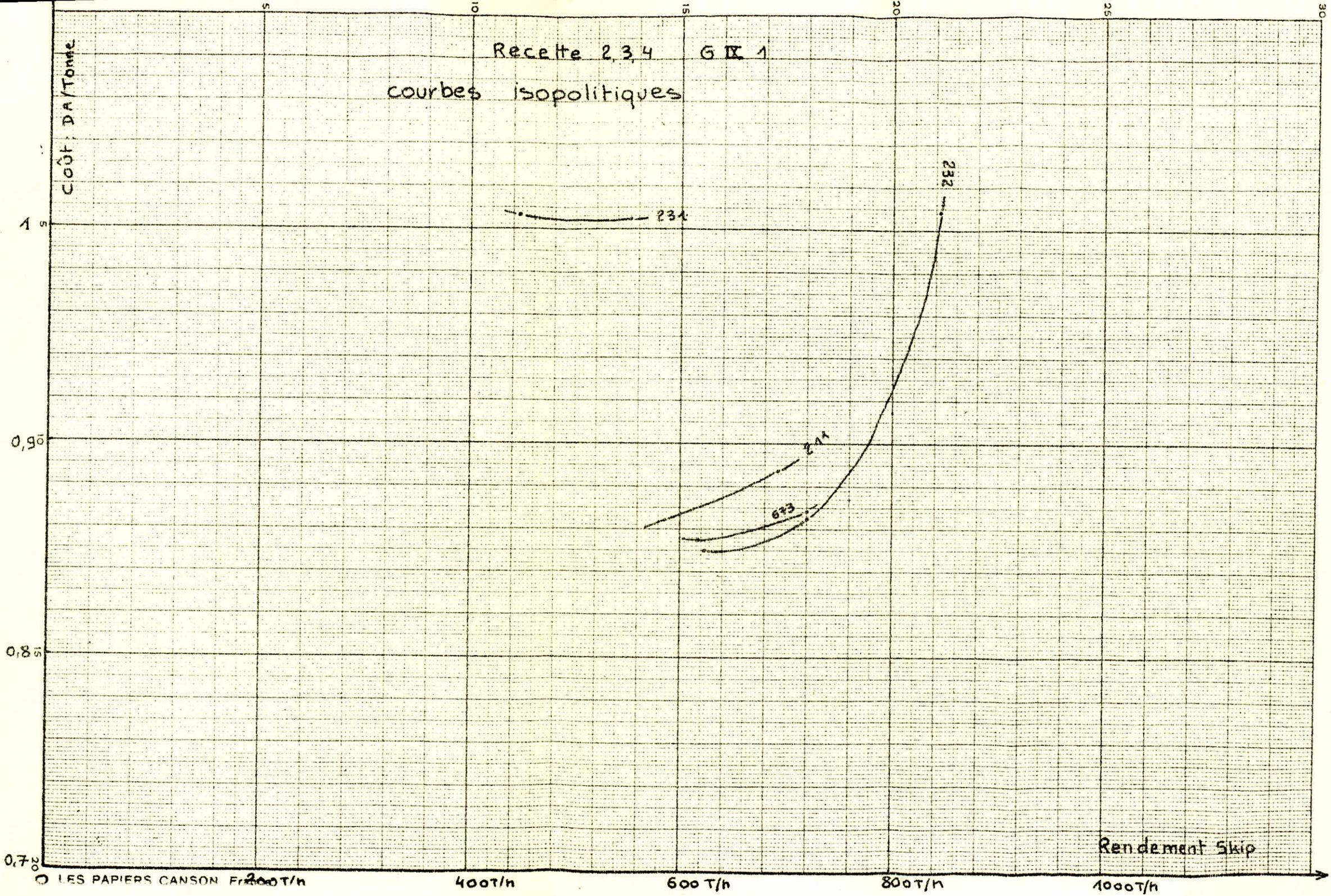
RECETTES (1, 2, 3) G VII 2

Courbes isoéquipements

- A { 500m
700m
300m
- B { 300m
700m
300m
600m
- C { 300m
500m
800m
300m
700m
300m
600m







Recette 2,3,4 G IX 1
 courbes isopolitiques

COÛT : DA/Tonne

1,0

0,95

0,85

0,75

LES PAPIERS CANSON Fr. 200 T/h

400 T/h

600 T/h

800 T/h

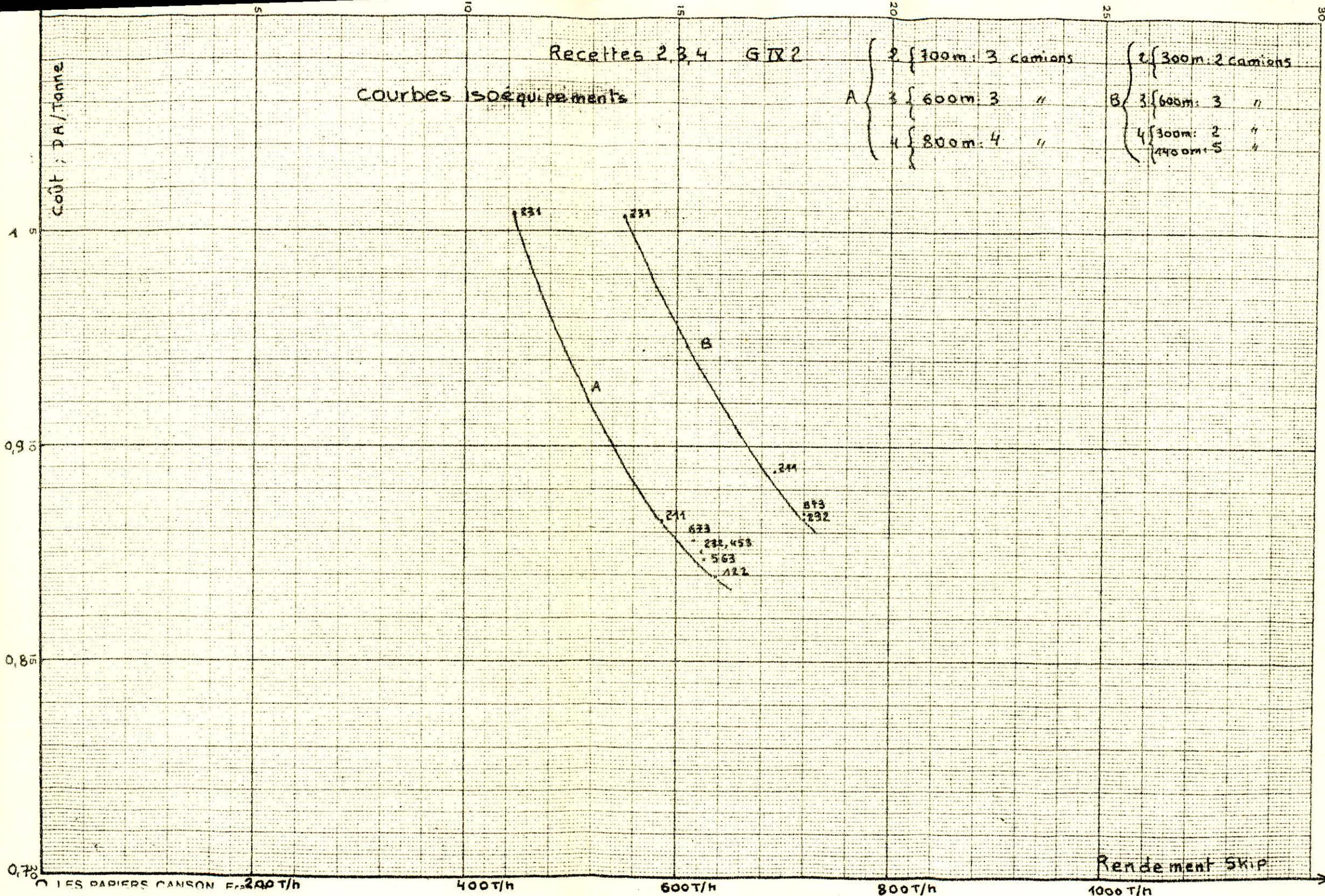
1000 T/h

Rendement Skip

Recettes 2, 3, 4 GTR 2

Courbes isoéquipements

- | | | | | | |
|---|---|---------------------|---|---|---------------------|
| A | { | 2 { 100m: 3 camions | B | { | 2 { 300m: 2 camions |
| | | 3 { 600m: 3 " | | | 3 { 600m: 3 " |
| | | 4 { 800m: 4 " | | | 4 { 300m: 2 " |
| | | | | | 5 { 400m: 5 " |



LES PAPIERS CANSON Fr. 200T/h

400T/h

600T/h

800T/h

1000 T/h

Rendement Skip

F. CONCLUSIONS GENERALES DE L'ETUDE

F.1. Les conclusions

La gestion du skip et l'affectation des engins entre les différents gradins influent sensiblement sur les résultats. Il n'existe donc pas un résultat global qui puisse donner la meilleure gestion ou l'affectation optimale.

Suivant la situation géométrique dans laquelle on se trouve (et qui décrit donc le planning tracé par les Ingénieurs de la mine), le type d'engins, l'état de ces engins, leurs performances, les distances des gradins aux recettes correspondantes etc..., nous obtenons des résultats optimaux tout à fait différents.

C'est pour cela que nous présentons notre modèle non pas comme un modèle statique relatif à une méthode d'exploitation figée, mais comme un modèle dynamique permettant de s'adapter à n'importe quel processus de transport du minerai des gradins ouverts vers le concasseur.

F.2. Propositions d'extension de l'étude

Nous proposons par conséquent aux chefs d'exploitations de tracer des plannings d'exploitation différents par le matériel utilisé (camions de 50 T, camions de 25 T, type de pelle etc...), par la prise en compte ou non des problèmes de stock (dans le cas où le skip est à l'arrêt) ou non, etc....

Ensuite, ils appliqueront notre modèle pour chaque situation de chacun des plannings.

Ils compareront ensuite les résultats globaux relatifs à chaque planning entre eux.

De cette façon, ils pourront voir, à l'avance comment se présente le meilleur processus de transport du minerai et le meilleur planning qui lui correspond.

De plus qu'ils n'oublient pas que notre modèle peut l'insérer, comme nous l'avons déjà souligné au chapitre D, dans un modèle beaucoup plus vaste qui comprendrait non seulement le processus de transport mais aussi le tir et la foration.

L'apport essentiel de notre étude n'est pas d'avoir fourni seulement des résultats intéressants, mais surtout d'avoir construit un modèle utilisable et qui peut être la base d'un travail de recherche beaucoup plus vaste encore.

BIBLIOGRAPHIE

- Revue de l'Industrie Minérale - Volume 45 N° 11 de Novembre 1963

 - Cours de Recherche Opérationnelle : Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (Mr AIT OUYAHIA)

 - Thèse de SENOUSSEI Tahar : ETUDE D'ENSEMBLE DES TRAVAUX POUR LA MISE EN MARCHE DU SOUTERRAIN DE CHAGOURA.
-

ANNEXES

- ANNEXE I : Liste des politiques
- ANNEXE II : Courbe des tables de répartition
- ANNEXE III : Organigramme succinct
- ANNEXE IV : Organigramme des politiques
- ANNEXE V : Lexique des paramètres
- ANNEXE VI : Catalogue des résultats
- ANNEXE VII : Brochure d'utilisation
- ANNEXE VIII : Listing des instructions et des résultats

ANNEXE I

LISTE DES POLITIQUES

ANNEXE I.1.

Nota : Politique = critère de sélection du couple de camions
ou du camion à décharger.

Politique 1001 IPOL1 = 1	Le skip déchargera les camions arrivés les premiers et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette.
Politique 1002 IPOL1 = 2	Le skip déchargera les camions arrivés les premiers et peut revenir deux fois de suite à la même recette.
Politique 2001 IPOL1 = 3	Le skip donne la priorité à la recette la plus basse et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette.
Politique 2002 IPOL1 = 4	Le skip donne la priorité à la recette la plus basse et peut revenir deux fois de suite à la même recette.
Politique 3001 IPOL1 = 5	Le skip donne la priorité à la recette ayant la file de camions en attente la plus longue et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette.
Politique 3002 IPOL1 = 6	Le skip donne la priorité à la recette ayant la file de camions en attente la plus longue et peut revenir deux fois de suite à la même recette.
Politique 4000 IPOL2 = 8	Le skip attend que deux camions soient disponibles à une recette.
Politique 5011 IPOL2 = 9	Le skip déchargera le camion arrivé le premier et ne peut revenir deux fois de suite à la même recette.

ANNEXE I.2.

- Politique 5012 Le skip déchargera le camion arrivé le premier
IPOL2 = 10 et peut revenir deux fois de suite à la même
recette.
- Politique 5021 Le skip donne la priorité à la recette la plus
IPOL2 = 11 basse et ne peut revenir deux fois de suite à
la même recette.
- Politique 5022 Le skip donne la priorité à la recette la plus
UPOL2 = 12 basse et peut revenir deux fois de suite à la
même recette.
- Politique 5031 Le skip donne la priorité à la recette la plus
IPOL2 = 13 haute et ne peut revenir deux fois de suite à la
même recette.
- Politique 5032 Le skip donne la priorité à la recette la plus
IPOL2 = 14 haute et peut revenir deux fois de suite à la
même recette.
- Politique 6000 Le skip déchargera le second camion à la même
IPOL3 = 15 recette.
- Politique 7100 Le skip déchargera le second camion à la première
IPOL3 = 16 recette disponible.
- Politique 7200 Le skip déchargera le second camion à la recette
IPOL3 = 17 la plus proche.

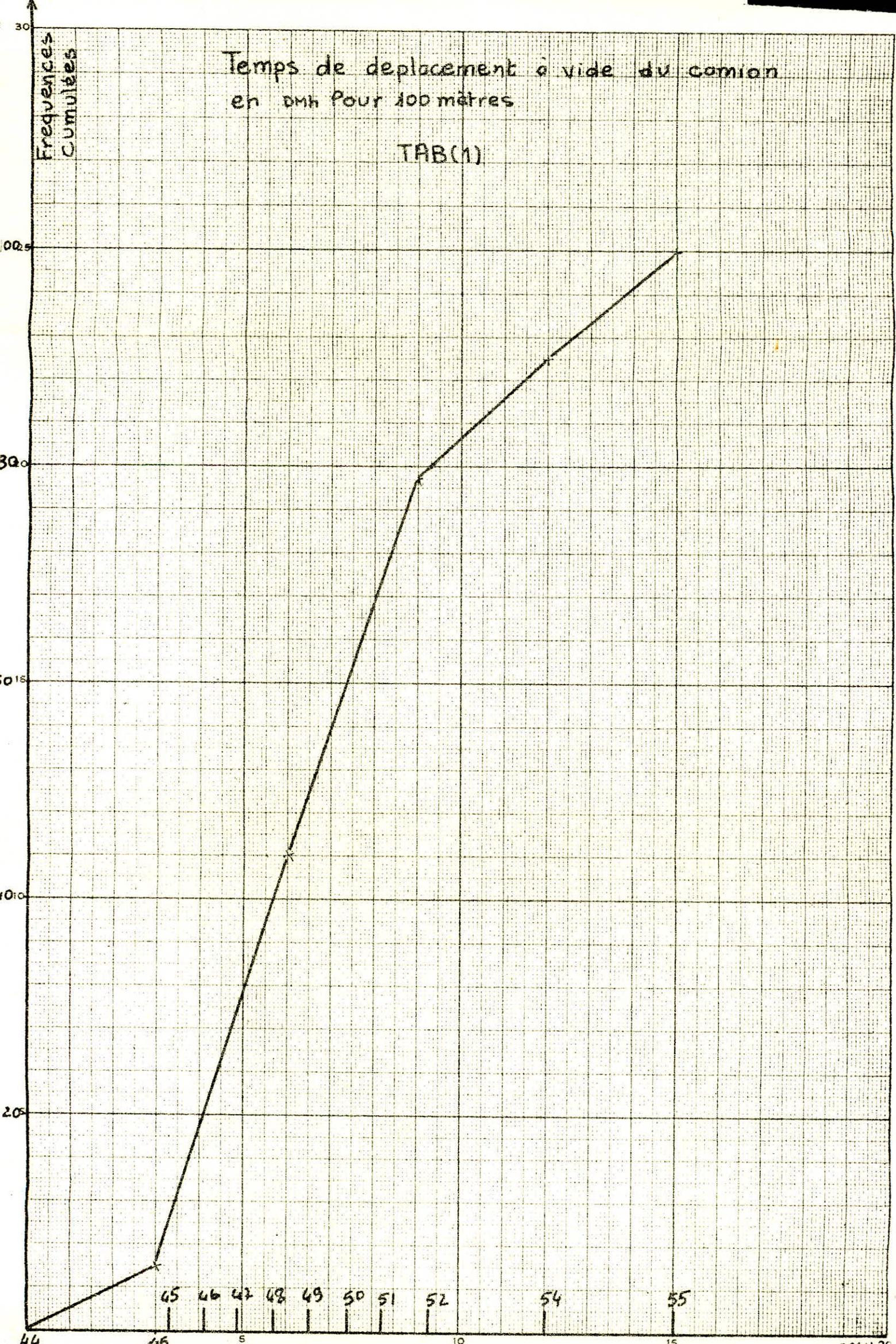
ANNEXE II

COURBE DES TABLES DE REPARTITION

Temps de déplacement à vide du camion
en DMH pour 100 mètres

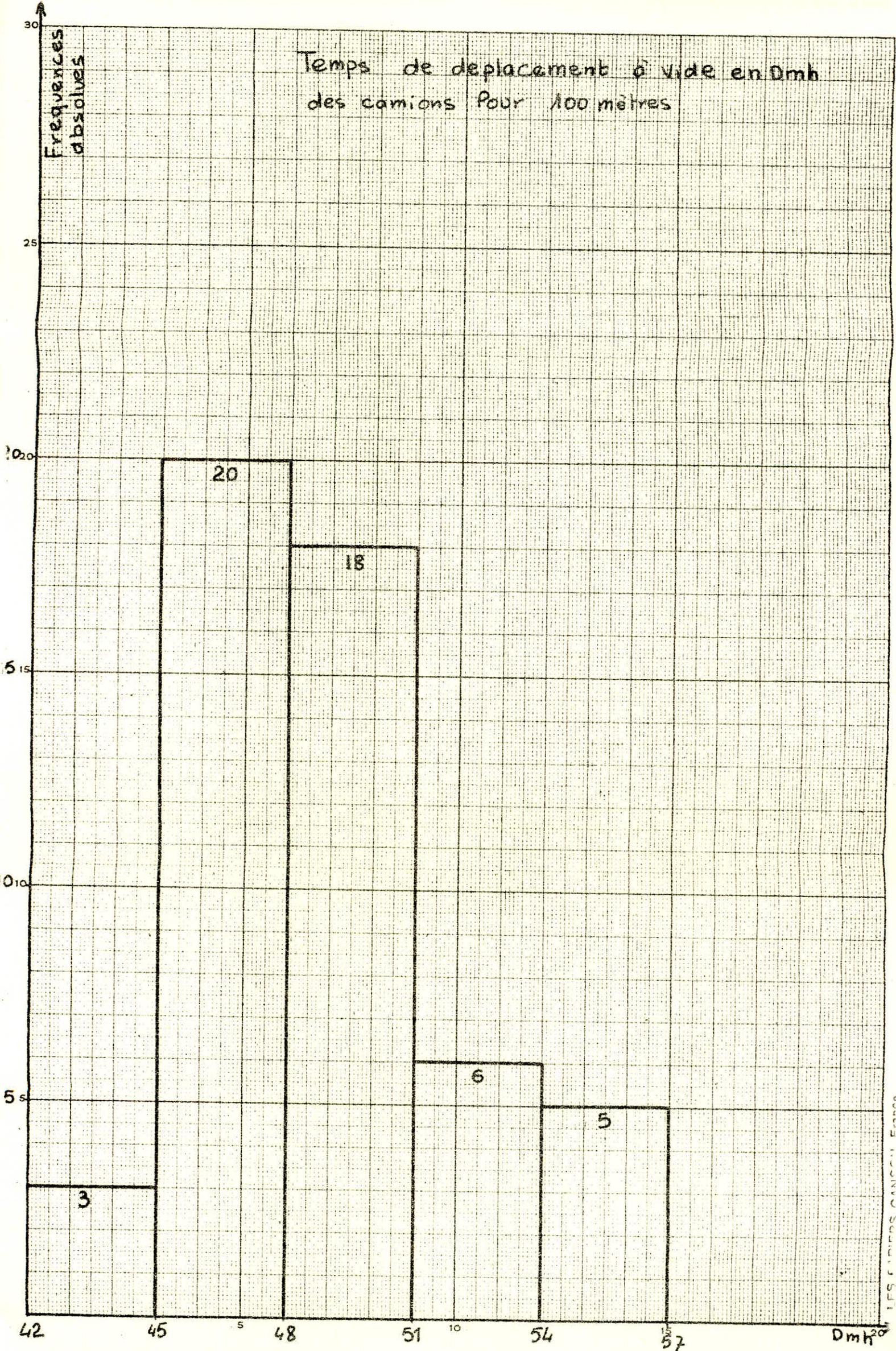
TAB(1)

Frequences
Cumulées



Temps de déplacement à vide en Dmh
des camions pour 100 mètres

Frequences
absolues

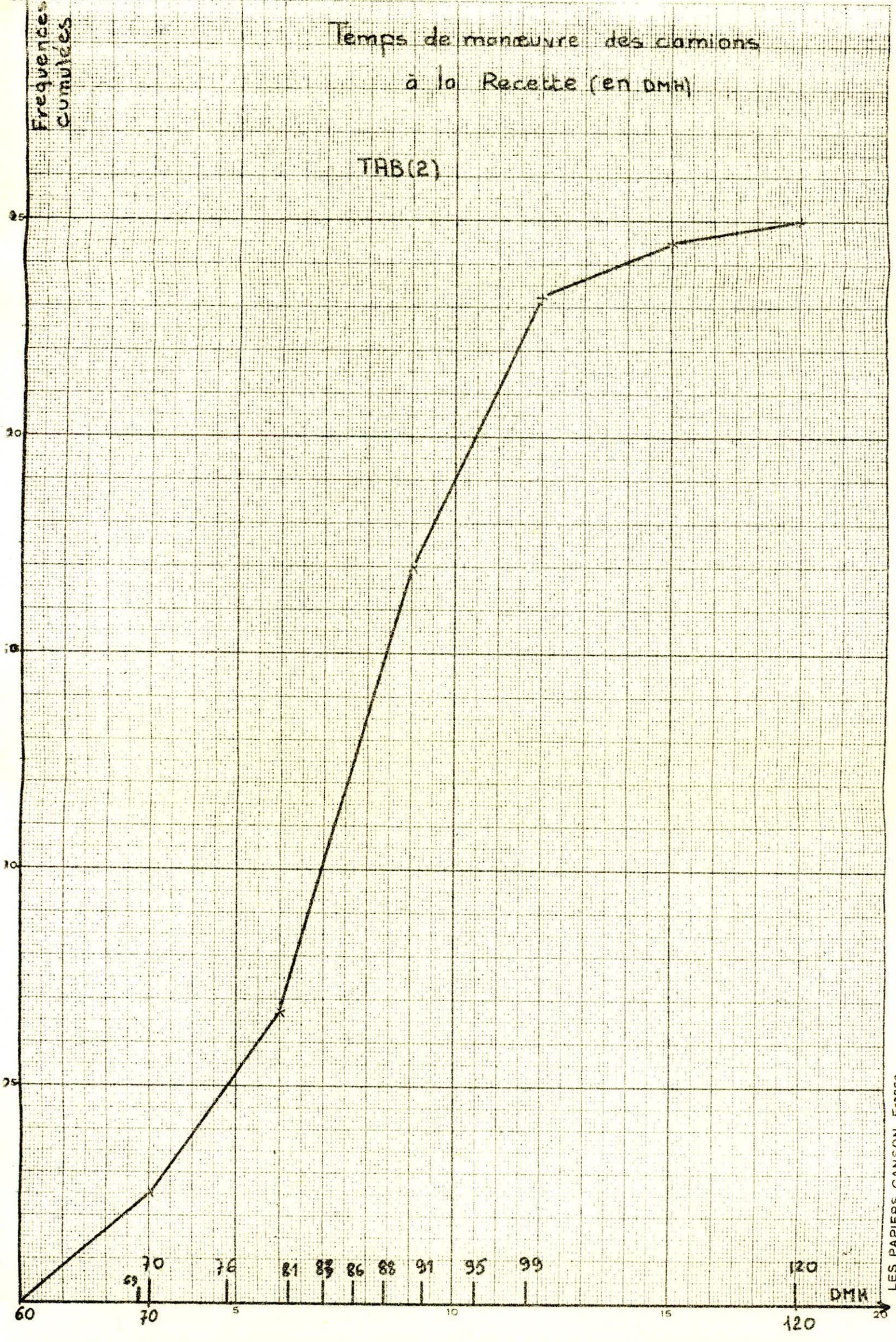


LES CAMIONS CANADIEN

Temps de manœuvre des camions
à la Recette (en DMH)

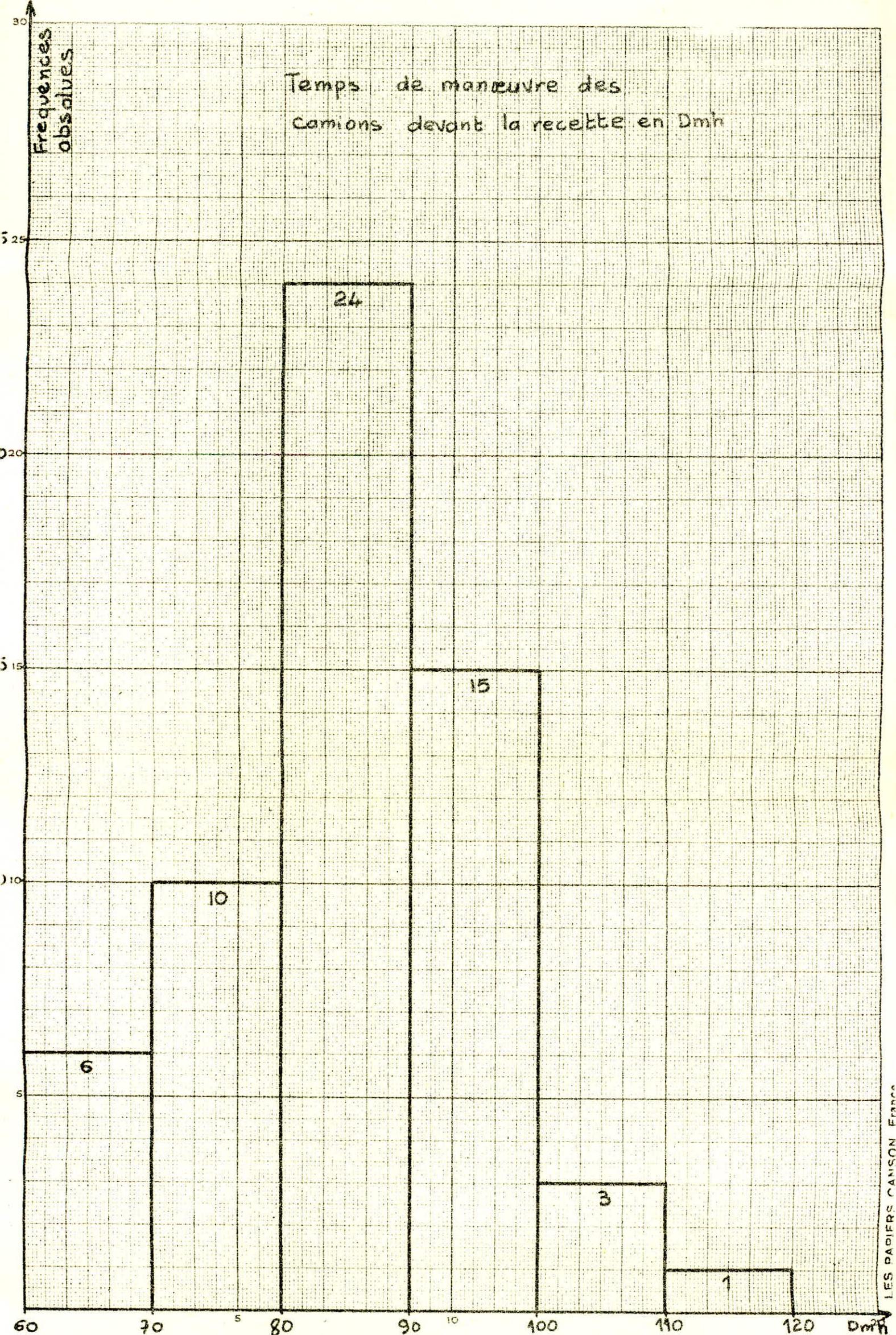
Frequences
cumulées

TAB(2)



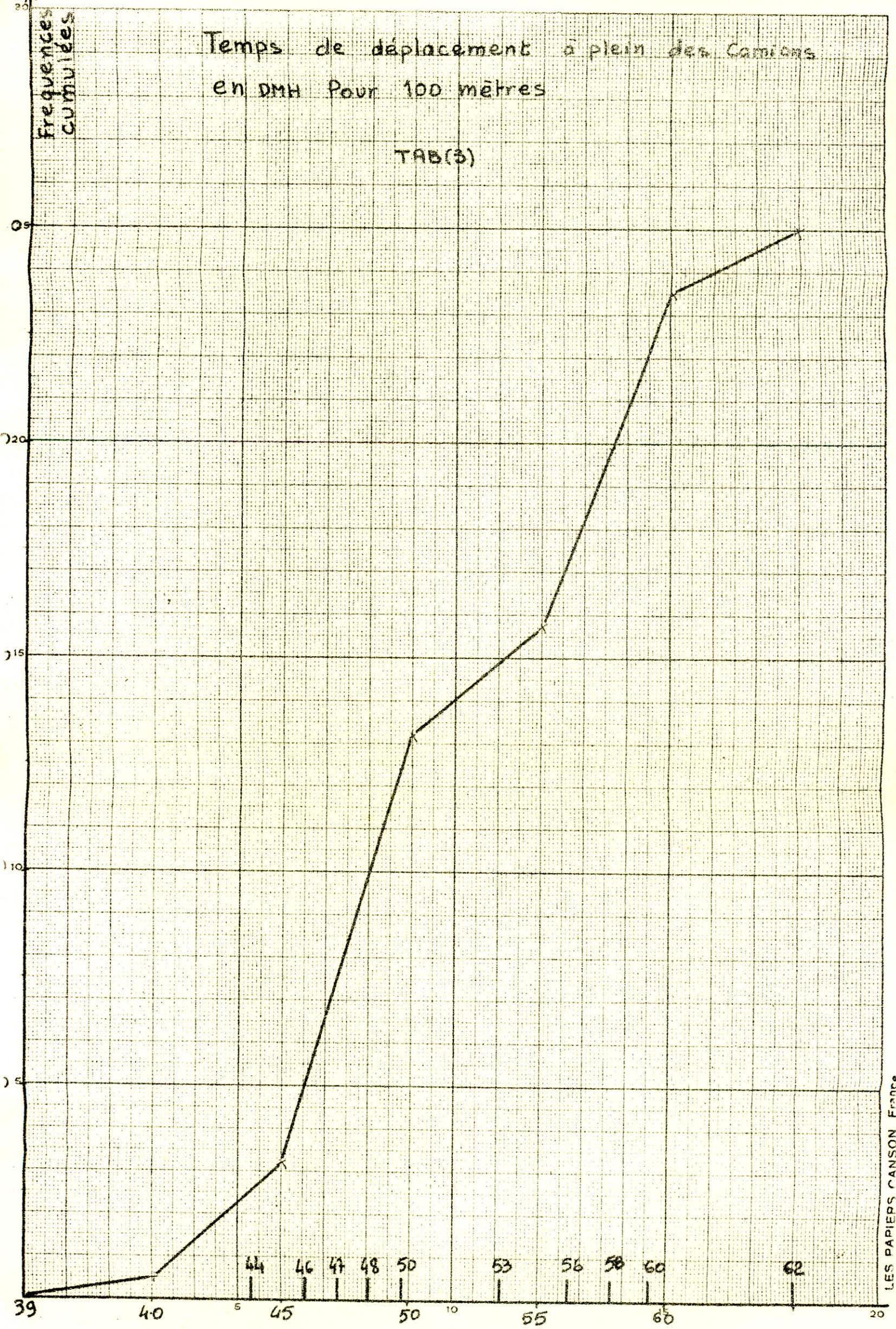
Temps de manœuvre des
Camions devant la recette en Dm/h

Frequences
observées

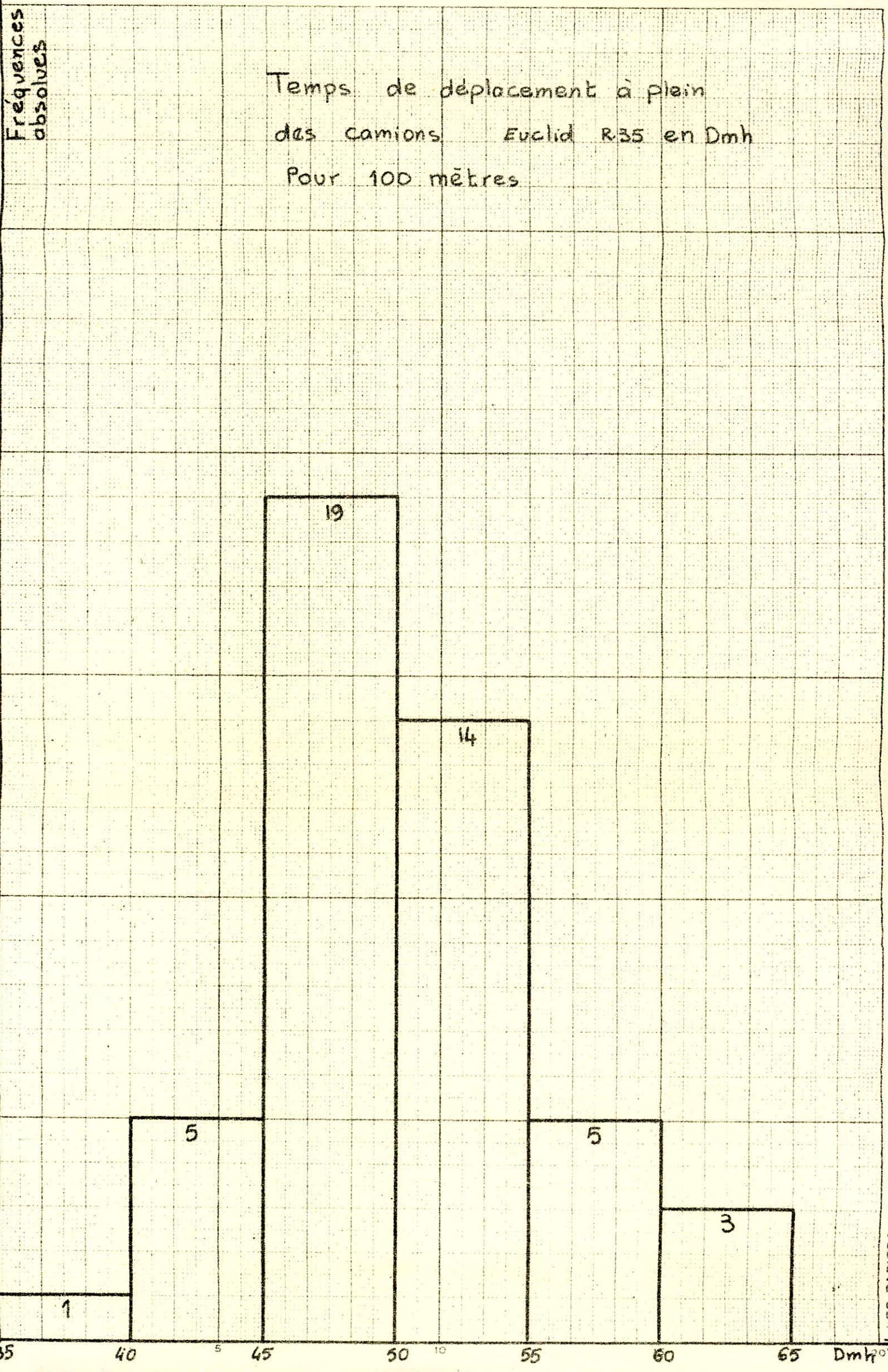


Temps de déplacement à plein des Camions
en DMH Pour 100 mètres

TAB(3)

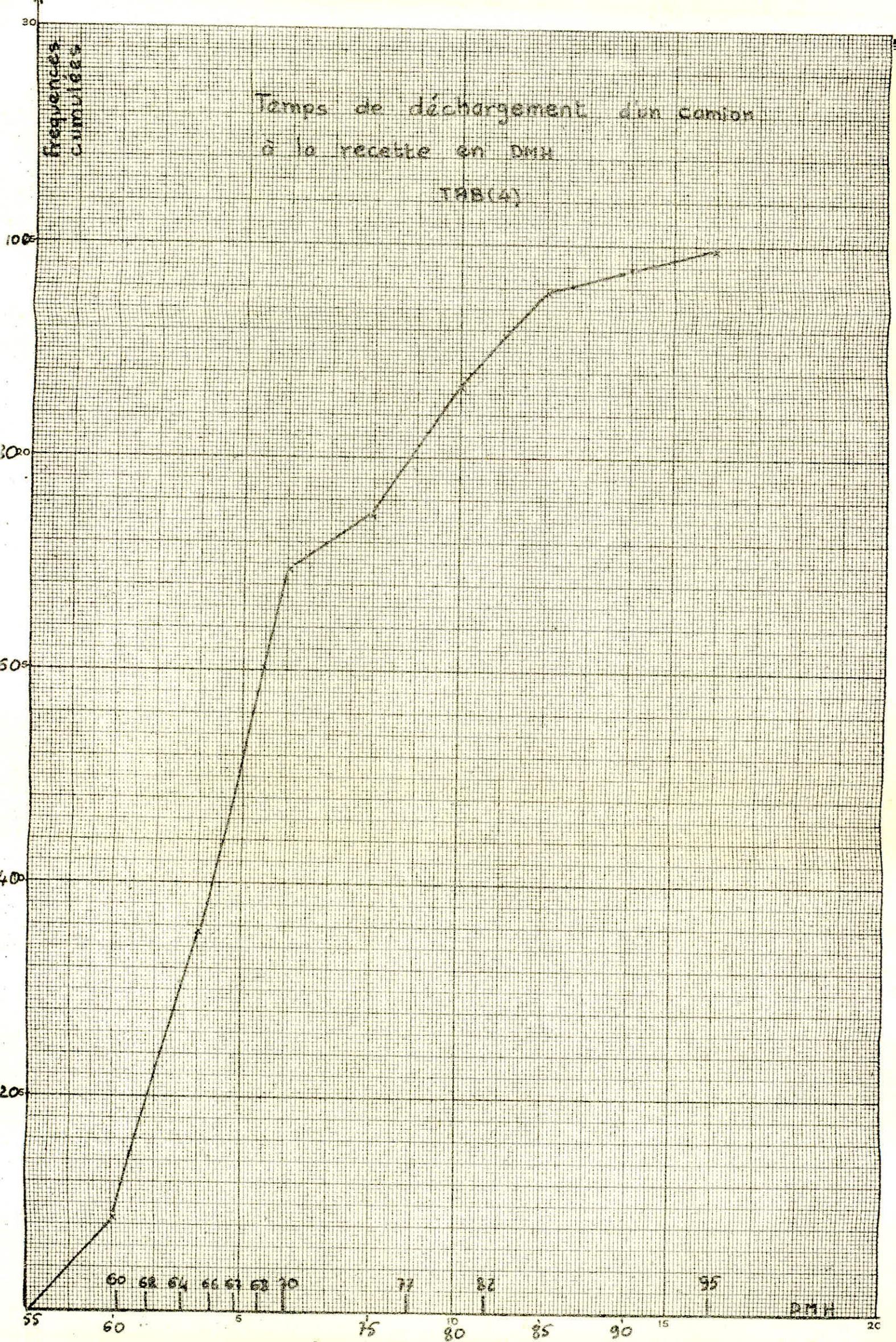


Temps de déplacement à plein
des camions Euclid R35 en Dmh
Pour 100 mètres



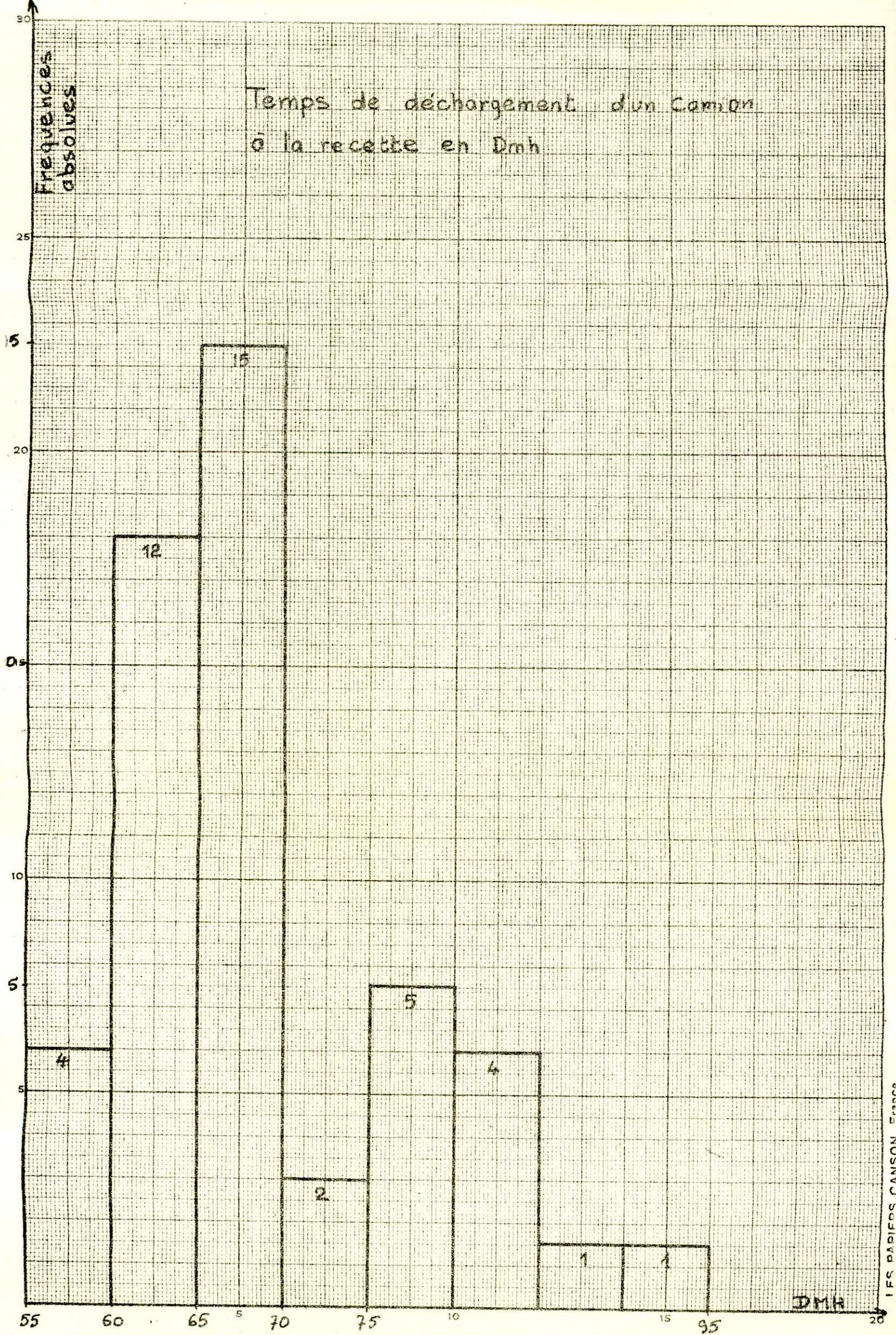
Temps de déchargement d'un camion
à la recette en DMH

TAB(4)



DMH

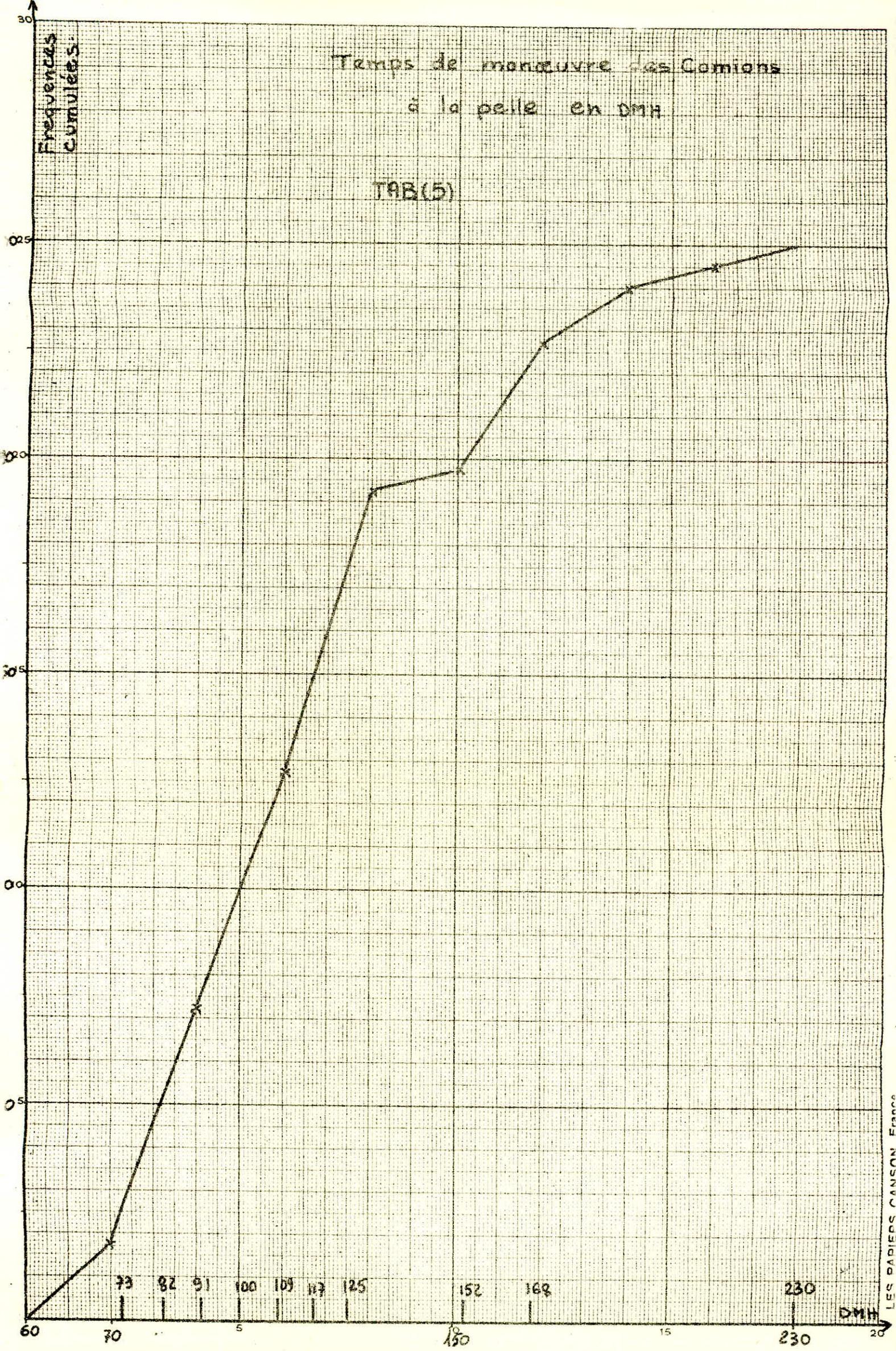
Temps de déchargement d'un Camion à la recette en DMH



Temps de manœuvre des Camions
à la pelle en DMH

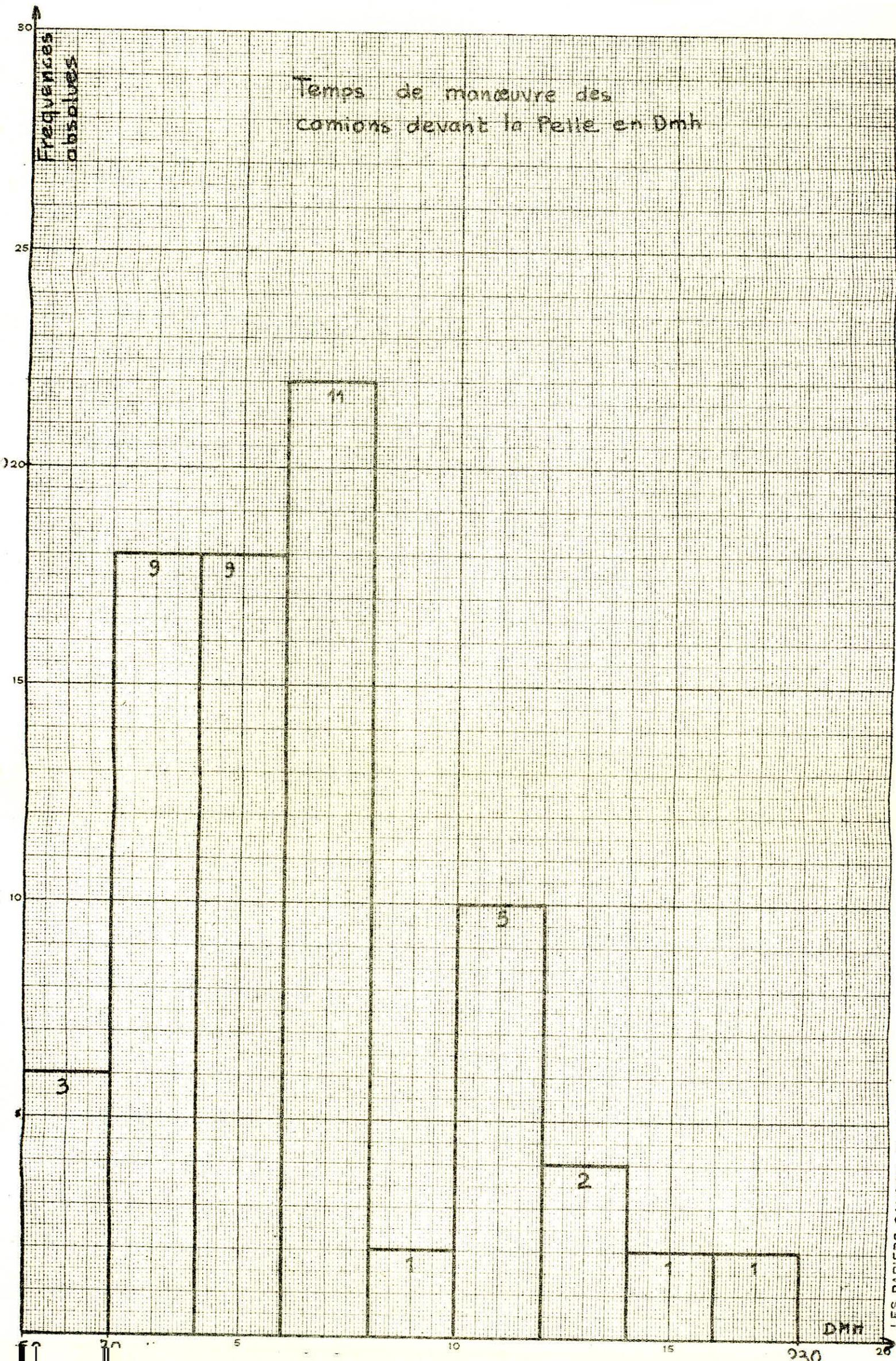
TAB(5)

Frequences
cumulées:



Temps de manœuvre des
camions devant la Pelle en Dmh

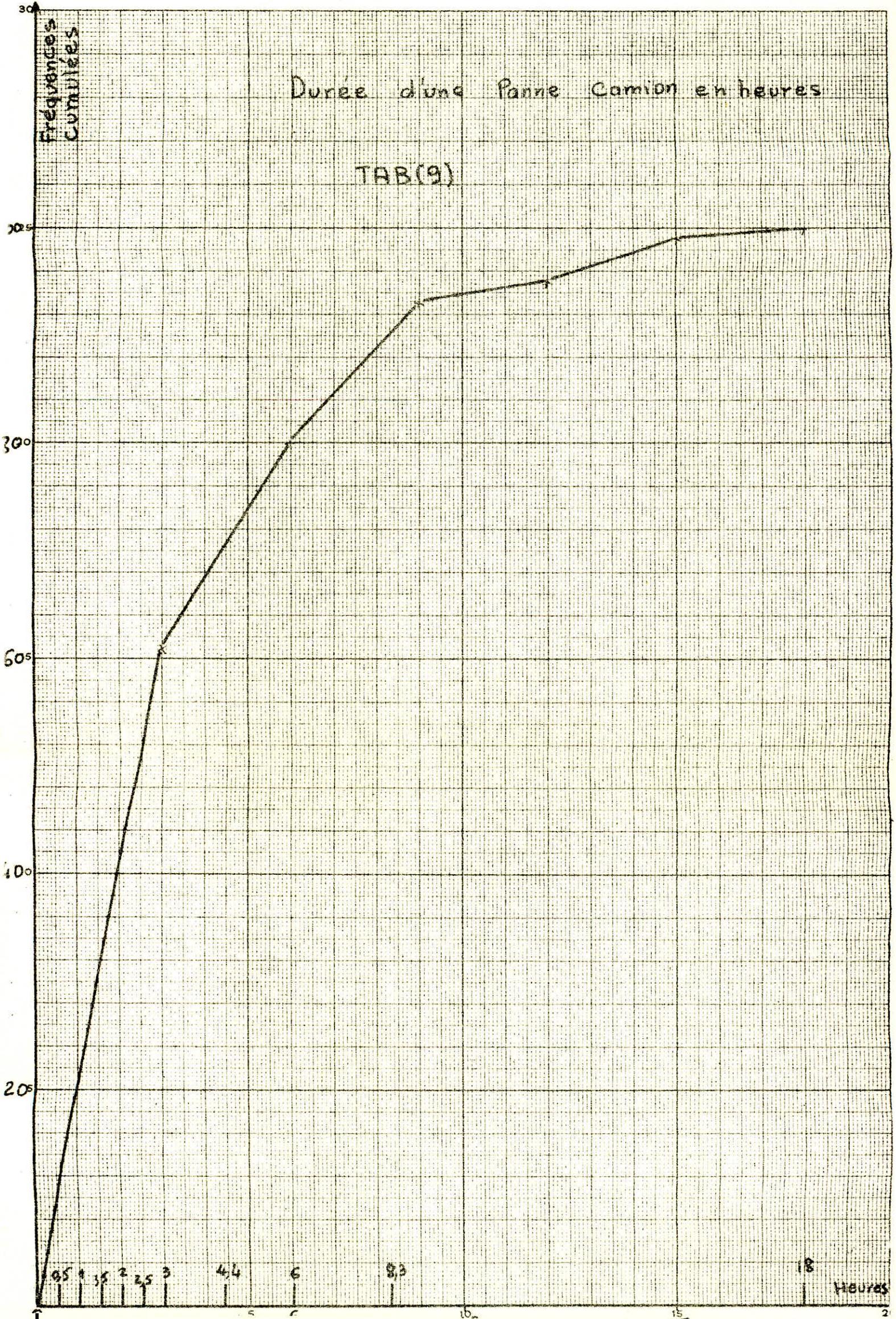
Frequences
absolues



Durée d'une Panne Camion en heures

TAB(9)

Fréquences
Cumulées



Heures

ANNEXE V

LEXIQUE DES PARAMETRES

ANNEXE I .1

6. LEXIQUE DES PARAMETRES

Nota :

DS signifie : depuis le début de la simulation
SP " : depuis la sortie précédente
I " : indice de la recette
J " : indice du gradin relatif à la recette I
K " : indice du camion relatif au gradin J de la recette I

6.1. Horloges des camions

TOSP (I,J,1) : total SP
TOSP (I,J,2) : travail SP
TOSP (I,J,3) : attente à la recette SP
TOSP (I,J,4) : panne SP
TOSP (I,5,5) : attente à la pelle SP
TOSP (I,J,1) : total DS
TCDS (I,J,2) : travail DS
TODS (I,J,3) : attente à la recette DS
TODS (I,J,4) : panne DS
TODS (I,J,5) : attente à la pelle DS

6.2. Horloges pelles

TOSP (I,J,6) : total pelle SP
TOSP (I,J,7) : travail SP
TOSP (I,J,8) : attente SP
TOSP (I,J,9) : Panne SP
TODS (I,J,6) : total pelle DS
TODS (I,J,7) : travail DS
TODS (I,J,8) : attente DS
TODS (I,J,9) : panne DS

ANNEXE 1.2.

6.3. Horloges du Skip

TOSK (2,1) : total SP
TOSK (2,2) : travail SP
TOSK (2,3) : attente SP
TOSK (1,1) : total DS
TOSK (1,2) : travail DS
TOSK (1,3) : attente DS

Nota :

Le terme total signifie :

Attente + Travail + Panne

Variables

- IREC (I) 0 recette I fermée
 1 recette I ouverte

- NGRAD (I) : nombre de gradins ouverts à la recette I

- NCAM (I,5) : nombre de camions affectés au gradin J de la
 recette I

- DSKIP (I,J) : temps de déplacement du skip de la recette I
 à la recette J

- IECAR (I) : = 0 le skip n'écarte pas la recette I
 = 1 le skip écarte la recette I

- IPREC : numéro de la recette où le dernier déchargement
 s'est effectué.

- HCAM (I,J,K) : horloge affectée au camion K du gradin J
 de la recette I

ANNEXE 1.3.

- INDIC (I) : = 0 0 camion attendent à la recette I
= 1 1 camion attend devant la recette I
= 2 au moins deux camions attendent à la
recette I
- N (I) : nombre de camions en attente à la recette I
- HSKIP : horloge affectée au skip
- CU : charge utile d'un camion
- NFILE (2,I) : N(I) SP
- NFILE (1,I) : N(I) DS
- ISRO : nombre de recette n'ayant aucun camion disponible
- ISR1 : nombre de recettes ayant 1 seul camion disponible
- ISR2 : nombre de recettes ayant au moins deux camions
disponibles
- TON (2,I) : tonnage total déchargé à la recette I SP
- TONC (2) : tonnage total déchargé au concasseur SP
- NCAM (2,I) : nombre de camions déchargés à la recette I depuis
le début de la simulation
- DISP (I,J) : Distance minimum de roulage du camion
- ITYPE (I,J) : type de pelle du gradin J de la recette I
- HPELLE (I,J) : horloge de la pelle qui se trouve au gradin J
de la recette I
- TAS (I,J) : tonnage du tas à charger au gradin J de la
recette I
- TONP (1,I,J) : tonnage chargé par la pelle du gradin J de
la recette I DS entre deux pannes
- DIST (I,J) : distance totale de roulage du camion
- TONCH (1,I,) : tonnage chargé par la pelle du gradin J de
la recette I DS
- TONCH (2,I,J) : tonnage chargé par la pelle du gradin J de
la recette I SP

ANNEXE 1.4.

- NSORT : numéro des sorties des résultats
- TSORT (NSORT) : tonnage de minerai exploité en simulation entre deux sorties de résultats
- TUTU (2) : taux d'utilisation du skip SP
- TUTU (2) : taux d'utilisation du skip DS
- TUPEL (2,I,J) : taux d'utilisation de la pelle du gradin J de la recette I SP
- TUPEL (1,I,J) : taux d'utilisation de la pelle du gradin J de la recette I DS
- TDPEL (1,I,J) : taux de disponibilité de la pelle du gradin J de la recette I DS
- TDPEL (2,I,J) : taux de disponibilité de la pelle du gradin J de la recette I SP
- TUCAM (2,I,J) : taux d'utilisation du parc de camions affectés au gradin J de la recette I SP
- TUCAM (1,I,J) : taux d'utilisation du parc de camions affectés au gradin J de la recette I DS
- TDCAM (2,I,J) : taux de disponibilité du parc de camions affectés au gradin J de la recette I SP
- TDCAM (1,I,J) : taux de disponibilité du parc de camions affectés au gradin J de la recette I DS
- NTCD (2) : nombre total de camions déchargés aux 4 recettes
- NTCD (1) : nombre total de camions déchargés aux 4 recettes
- TON (1,I) : tonnage total déchargé à la recette I DS
- TONC (1) : tonnage total déchargé au concasseur DS
- COUCA 1 : dépenses camions proportionnelles au taux de disponibilité.

ANNEXE 1.5.

- COUCA 2 : dépenses camions proportionnelles au taux d'utilisation
- COUPEL 1 : dépenses pelles proportionnelles au taux de disponibilité
- COUPEL 2 : dépenses pelles proportionnelles au taux d'utilisation
- SALPEL : dépenses en salaires relatifs aux pelles
- SALCA : dépenses en salaires relatifs aux camions
- SKIP : dépenses relatives à l'entretien au skip
- SALSKI : dépenses en salaires relatifs au skip
- SALREC : dépenses en salaires relatifs aux recettes
- AMOY : moyenne des tables de données statistiques
- ECART : écart-type des tables de données statistiques
- TONP (2,I,J) : tonnage chargé par la pelle du gradin J de la recette I entre deux pannes SP

ANNEXE VI

CATALOGUE DES RESULTATS

RECETTE

Passage	Nombre de camions	Distance de recette Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					201	53	77	56	95	
16	2	500	231	513	0,717	513	165	44	80	52	96	46
	2	800					148	39	82	55	96	
	2	300					196	52	77	55	96	
17	3	500	231	566	0,774	566	177	47	77	38	97	50
	4	800					193	51	74	36	99	
	3	300					209	55	76	38	96	
92	4	500	231	615	0,823	615	204	54	77	32	97	53
	5	800					201	53	71	30	98	
90	2	500	231	342	0,738	342	188	50	73	59	95	31
	2	800					156	41	84	58	96	

Passage	Nombre de camions	Distance recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
93	2	300	231	378	0,673	378	209	55	76	57	95	35
	2	500					171	45	79	54	96	
95	2	300	231	337	0,739	337	194	51	74	53	94	31
	2	600					145	38	84	54	98	
19	2	500	231	355	0,775	355	184	49	78	58	95	31
	3	800					172	46	80	43	97	
97	2	300	231	366	0,742	366	188	50	74	51	94	32
	3	500					170	48	80	38	97	
98	2	300	231	373	0,741	373	190	50	74	52	95	33
	3	800					184	49	78	46	97	

RECETTE 1

Passage	Nombre de Camions	Distance recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
18	3	500	231	374	0,849	374	196	52	76	41	97	32
	4	800					180	48	79	34	98	
94	3	300	231	391	0,807	391	209	55	76	38	96	34
	4	500					183	48	80	29	96	
96	3	300	231	366	0,855	366	194	51	71	36	97	32
	4	800					173	46	77	32	98	

RECETTE 2

Passage	Nombre de camions	Distance recette Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
99	2	300	231	206	0,673	206	207	55	74	57	94	23
13	2	300	231	357	0,717	357	210	56	78	58	94	39
	2	700					148	39	84	53	96	
14	2	300	231	365	0,759	369	193	51	77	54	94	39
	3	700					174	46	78	41	97	
15	2	300	21	409	0,750	409	203	54	75	56	95	45
	4	700					207	55	75	37	97	

RECETTE 3

Passage	Nombre de camions	Distance de recette Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
103	2	300	231	205	0,683	205	207	55	74	57	94	26
102	1	300	231	210	0,880	210	137	36	81	75	94	27
	1	600					75	20	89	51	97	
11	2	300	231	332	0,756	332	189	50	73	52	93	42
	2	600					147	39	80	50	95	
12	2	300	231	353	0,782	353	185	49	75	51	96	43
	3	600					171	45	80	38	97	
101	3	300	231	379	0,845	379	191	51	71	35	96	46
	4	600					190	50	80	32	98	

RECETTE 4

- 7 -

Passage	Nombre de Camions	Distance recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
105	2	800	231	288	0,887	288	170	45	82	64	94	41
	2	1.400					120	32	87	59	97	
106	2	900	231	338	0,762	338	206	54	79	56	94	48
	2	800					134	36	82	50	96	
109	2	300	231	333	0,844	333	188	50	75	51	96	47
	3	1.400					147	39	79	48	98	
22	2	800	231	352	0,890	352	171	45	78	63	97	50
	4	1.400					183	49	76	45	97	
104	3	800	231	329	0,986	329	177	47	75	44	98	45
	4	1.400					154	41	79	38	97	

RECETTE 4

Passage	Nombre de Camions	Distance de recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
107	3	300	231	391	0,842	391	203	54	75	38	97	54
	4	800					190	50	77	36	97	
108	3	300	231	392	0,908	392	199	53	72	36	96	55
	5	1.400					195	52	74	39	99	
35	2	300	231	334	0,822	334	182	48	75	50	97	47
	3	800					155	41	77	39	98	
36	2	300	231	395	0,78	395	196	52	76	54	95	56
	4	800					201	53	75	38	97	
37	2	800	251	332	0,890	352	171	45	78	63	97	50
	4	1.400					183	49	76	45	97	

RECETTE 4

Passage	Nombre de Camions	Distance de recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
38	3	800	251	349	0,893	349	192	51	73	48	98	49
	3	1.400					159	42	83	53	98	
40	2	800	231	378	0,830	378	189	50	76	52	94	53
	4	1.400					191	51	76	47	98	
41	2	800	231	400	0,84	400	198	52	75	55	96	57
	5	1.400					204	54	71	40	97	
39	4	800	251	394	0,971	394	205	54	75	39	97	55
	5	1.400					191	51	75	38	97	
21	4	800	231	394	0,971	394	205	54	75	39	97	55
	5	1.400					191	51	75	38	97	

RECETTE 4

Passage	Nombre de Camions	Distance recette -Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
110	2	300	231	468	0,850	468	181	48	80	50	95	65
	2	800					138	37	86	52	90	
	3	1.400					152	40	77	51	98	
20	2	300	231	577	0,876	577	163	43	76	44	95	79
	4	800					203	54	74	38	98	
	5	1.400					212	56	74	42	97	
111	3	300	231	608	0,912	608	197	52	79	36	97	82
	4	800					194	51	75	37	97	
	6	1.400					219	58	73	33	98	

RECETTES 1 ET 2

Passage	Nombre de Camions	Distance recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
26	3	500	232	819	0,750	421	204	54	68	42	97	85
	4	800					217	58	69	41	96	
	2	300					398	53	77	55	95	
	3	700					199	53	70	48	97	
27	3	500	122	851	0,733	441	209	55	72	45	97	87
	4	800					232	61	74	44	97	
	2	300					410	53	76	55	98	
	3	700					211	56	75	50	94	
28	3	500	673	799	0,764	419	210	55	72	44	96	83
	4	800					209	55	67	40	97	
	2	300					380	50	62	52	96	
	3	700					190	50	67	46	97	

Passage	Nombre de Camions	Distance de recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
29	2	300	232	789	0,725	384	181	48	77	50	96	92
	3	700										
	2	300										
	3	600										
30	2	300	122	772	0,734	381	185	49	77	51	96	91
	3	700										
	2	300										
	3	600										
31	2	300	673	761	0,742	386	192	51	79	53	98	90
	3	700										
	2	300										
	3	600										

RECETTE 3 ET 4

Passage	Nombre de Camions	Distance de recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
13	3	600	232	602	0,845	200	198	52	75	45	97	84
	3	800				402	199	53	74	50	95	
	4	1.400				205	54	72	51	96		
14	3	600	122	616	0,834	207	203	54	77	46	97	86
	3	800				409	202	53	75	50	97	
	4	1.400				209	55	73	52	97		
15	3	600	673	618	0,831	209	205	54	79	46	98	86
	3	800				410	200	53	73	49	96	
	4	1.400				211	56	74	52	96		
12	3	600	232	621	0,805	184	182	48	72	41	96	86
	3	300				436	219	58	75	40	97	
	4	800				218	58	72	42	97		

Pasage	Nombre de Camions	Distance Recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
33	3	600	122	608	0,814	202	199	52	75	44	96	84
	3	300				406	198	52	68	36	96	
	4	800				210	55	70	39	98		
34	3	600	673	611	0,817	188	185	49	78	41	95	84
	3	300				423	211	56	70	39	97	
	4	800				213	56	69	40	97		
112	3	300	232	626	0,793	219	215	57	78	40	97	86
	3	300				408	204	54	71	38	98	
	4	800				205	54	69	38	97		
113	3	300	122	624	0,794	201	198	53	73	36	96	86
	3	300				423	209	55	72	39	96	
	4	800				215	57	73	40	97		

Message	Nombre de Camions	Distance recette - Grddin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
114	3	300	673	620	0,797	200	198	52	77	37	98	86
	3	300				420	221	58	76	41	95	
	4	800				199	53	66	37	96		
115	3	300	232	649	0,789	214	209	55	77	39	96	89
	3	300				435	209	55	74	39	97	
	4	1.400				226	60	81	56	97		
116	3	300	122	623	0,810	208	204	54	73	38	97	86
	3	300				415	205	54	72	38	96	
	4	1.400				211	56	75	52	98		
117	3	300	673	620	0,812	214	208	55	78	39	96	86
	3	300				406	201	53	68	37	96	
	4	1.400				204	54	72	51	98		

Passage:	Nombre de Camions	Distance Recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
118	3	600	232	633	0,808	205	202	53	76	45	97	88
	3	300				428	218	58	75	40	97	
	4	1.400				210	55	74	52	98		
119	3	600	122	616	0,823	198	195	52	73	44	97	86
	3	300				418	210	56	72	38	97	
	4	1.400				209	55	74	52	98		
120	3	600	673	601	0,834	182	180	48	72	40	97	84
	3	300				419	222	59	74	41	97	
	4	1.400				198	53	69	49	96		
121	3	300	232	639	0,805	227	223	59	80	40	96	88
	3	800				412	200	53	74	49	98	
	4	1.400				211	56	75	52	98		

RECETTE 3 et 4

PASSAGE	Nombre de camion	Distance recette gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	3	300				209	205	54	72	38	96	
122	3	800	122	617	0,825	408	202	54	75	51	98	86
	4	1.400					206	55	74	51	97	

PASSAGE	Nombre de camion	Distance recett; gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
42	3	500	233	612	0,790	195	195	52	65	41	96	75
	4	700				225	225	60	71	40	96	
	2	300				193	293	51	74	53	96	
43	3	500	373	637	0,770	211	212	56	73	44	97	77
	4	700				226	226	60	71	40	97	
	2	300				200	200	53	76	55	94	
44	3	500	231	404	1,07	154	154	41	82	32	98	40
	4	700				152	153	41	81	28	98	
	2	300				98	98	26	87	27	97	
45	3	500	563	618	0,78	206	206	55	72	44	97	75
	4	700				216	216	57	68	39	98	
	2	300				196	196	52	73	54	96	

Passage :	Nombre de camions :	Distance : recette - gradin :	Politique :	Rdt Skip :	Coût :	Rdt Recette :	Rdt Pelle :	TU Pelle :	TD Pelle :	TU Camion :	TD Camion :	Utilisation Skip :
46	3	500	343	638	0,770	224	224	59	73	47	96	78
	4	700				225	225	60	71	40	97	
	2	300				188	188	50	77	52	94	
47	3	500	123	634	0,770	215	215	57	72	46	97	78
	4	700				223	224	59	72	40	95	
	2	300				196	196	52	77	55	95	
48	3	500	453	644	0,760	232	232	61	75	48	95	79
	4	700				231	231	61	73	41	98	
	2	300				181	181	48	75	50	95	
49	3	500	211	559	0,835	191	192	51	76	40	96	55
	4	700				215	215	57	71	38	96	
	2	300				153	153	41	77	42	95	

Passage	Nombre de camions	Distance : recette - gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
50	2	300	232	791	0,737	188	175	46	81	49	96	93
	3	700				205	200	53	78	48	96	
	2	300				398	181	48	77	49	95	
	3	600				216	57	77	48	97		
	2	300				166	161	43	77	45	95	
51	3	700	673	750	0,767	190	189	50	74	45	95	89
	2	300				394	193	51	78	54	95	
	3	600				200	53	70	45	96		
	2	300				107	108	28	82	29	98	
52	3	700	231	502	1,02	141	142	38	82	34	97	53
	2	300				253	121	32	84	34	96	
	3	600				133	35	81	30	98		
	3	600				133	35	81	30	98		

Passage :	Nombre de camions :	Distance : recette : -grad'n :	Politique :	Rdt Skip :	Coût :	Rdt Recette :	Rdt Pelle :	TU Pelle :	TD Pelle :	TU Camion :	TD Camion :	Utilisation Skip :
53	2	300	563	783	0,740	183	178	47	82	49	96	92
	3	700				203	201	53	76	48	96	
	2	300				398	187	50	78	52	96	
	3	600				211	56	77	48	97		
	2	300				185	182	48	77	49	93	
54	3	700	453	755	0,760	204	201	53	75	49	98	89
	2	300				366	168	44	74	47	93	
	3	600				198	52	73	45	98		
	2	300				187	183	48	79	50	95	
55	3	700	343	777	0,740	186	185	49	72	44	96	92
	2	300				404	190	50	83	52	94	
	3	700				214	57	78	47	97		
	2	300				187	183	48	79	50	95	

Passage	Nombre de camions	Distance recette	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
56	2	300	122	776	0,747	184	170	45	77	47	96	91
	3	700				201	195	52	76	46	96	
	2	300				391	188	50	78	52	97	
	3	600				203	54	74	46	97		
	2	300				164	164	43	83	45	97	
	3	700				184	184	49	81	44	96	
57	2	300	211	728	0,778	380	188	50	82	52	95	76
	3	600				191	51	73	53	97		

Passage	Nombre de camions	Distance de recette - gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					139	37	81	38	97	
	3	500				478	167	44	81	36	97	
	4	800					171	45	70	32	98	
58	2	300	232	1.048	0,896	295	138	37	84	38	97	100
	3	700					156	41	86	36	99	
	2	300					129	34	77	35	98	
	3	600				275	147	39	83	33	97	

RECETTES 1,2,3.

Passage	Nombre de camions	Distance recette -gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					143	38	81	40	96	
	3	500				522	172	45	76	37	96	
	4	800					207	55	77	39	97	
51	2	300	673	1.062	0,884	278	128	34	87	35	96	100
	3	700					151	40	88	35	100	
	2	300				263	123	33	88	34	96	
	3	600					140	37	87	31	98	

RECETTES 1,2,3.

Passage	Nombre de camions	Distance recette -gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					140	37	87	38	98	
	3	500				484	156	41	82	33	96	
	4	800					188	50	82	35	98	
	2	300					129	34	85	34	97	
00			231	1.019	0,910	271						95
	3	700					142	38	84	33	99	
	2	300					124	33	84	33	95	
						265						
	3	600					142	38	83	31	98	

RECETTES 1,2,3.

Passage	Nombre de camions	Distance Recette -gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					181	48	80	49	97	
	3	500				627	220	58	78	46	95	
	4	800					225	59	73	43	96	
	2	300					151	40	81	41	97	
	3	700	453	1.098	0,868	317	165	44	82	39	97	
	2	300					82	22	96	22	99	
	3	600				155	73	19	84	16	99	100

RECETTES 1,2,3.

Passage	Nombre de camions	Distance Recette -gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					141	37	82	39	99	
	3	500				492	160	43	76	33	97	
	4	800					190	50	78	36	97	
1	2	800	563	1.054	0,887	304	145	38	85	39	94	100
	3	700					160	42	84	38	97	
	2	300				259	126	34	82	34	98	
	3	600					132	35	77	30	97	

RECETTES 1,2,3.

Passage	Nombre de camions	Distance Recette -gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					133	35	87	36	95	
	3	500				475	151	40	79	32	97	
	4	800					191	51	82	36	98	
34	2	300	122	1.049	0,898	279	138	36	83	37	98	100
	3	700					142	38	80	34	98	
	2	300				295	141	37	85	38	97	
	3	600					154	41	85	35	97	

RECETTES 1,2,3.

Passage	Nombre de camions	Distance Recette -grandin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					153	40	85	41	96	
	3	500				525	174	46	81	37	96	
	4	800					198	52	78	37	98	
	2	300					175	46	84	48	95	
63	3	700	343	1.067	0,878	353	178	47	79	42	97	100
	2	300					100	26	89	27	99	
	3	500				189	89	24	79	19	98	

RECETTES 1,2,3.

Passage	Nombre de camions	Distance Recette -gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	2	300					132	35	81	37	97	
	3	500				496	173	46	83	35	98	
	4	800					190	50	80	36	98	
65	2	300	211	1.045	0,892	262	134	36	86	37	95	98
	3	700					128	34	75	30	98	
	2	300				287	135	36	84	38	98	
	3	600					152	40	86	34	97	

Passage	Nombre de Camions	Distance Recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
	3	700				205	205	54	75	36	98	
66	3	600	232	621	0,850	213	213	56	76	36	98	82
	4	800				204	204	54	68	38	97	
	3	700				185	185	49	73	33	98	
67	3	600	673	616	0,855	211	211	56	76	35	97	83
	4	800				220	219	58	73	42	96	
	3	700				143	144	38	87	34	98	
68	3	600	231	446	1,060	138	138	37	84	31	98	53
	4	800				165	166	44	85	31	98	
	3	700				187	188	50	72	34	98	
69	3	600	563	626	0,846	212	213	56	77	35	97	84
	4	800				226	227	60	75	43	97	

Passage	Nombre de Camions	Distance Recette - Gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
70	3	700	453	621	0,851	208	208	55	74	37	98	83
	3	600				193	192	51	70	32	97	
	4	800				219	219	58	76	42	96	
71	3	700	122	637	0,838	204	204	54	77	37	97	85
	3	600				212	212	56	77	35	97	
	4	800				221	219	58	74	42	97	
73	3	700	211	585	0,864	177	177	47	80	42	95	69
	3	600				187	188	50	78	42	97	
	4	800				221	222	59	73	42	97	

Passage	Nombre de camions	Distance : Recette -gradin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
74	2	300	232	719	0,865	150	146	39	77	41	97	94
	3	600				184	182	48	77	41	96	
	2	300				384	164	43	78	44	95	
	5	1.400				221	59	74	43	98		
	2	300				133	132	35	79	37	97	
75	3	600	673	720	0,867	185	184	49	82	41	96	94
	2	300				402	182	48	82	50	96	
	5	1.400				221	58	73	44	98		

Passage	Nombre de camions	Distance Recette -grebin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip
75	2	300	231	552	1,050	113	114	30	86	31	98	67
	3	600				146	146	39	81	33	98	
	2	300				293	118	31	84	32	97	
	5	1.400				176	47	81	35	99		
81	2	300	211	693	0,887	141	141	37	80	39	96	84
	3	600				168	170	45	75	37	98	
	2	300				384	161	43	80	45	97	
	5	1.400				223	59	75	44	98		

RECETTES 2,3,4.

Pasage	Nombre de Camions	Distance Recette -grandin	Politique	Rdt Skip	Coût	Rdt Recette	Rdt Pelle	TU Pelle	TD Pelle	TU Camion	TD Camion	Utilisation Skip	
	2	500	232	844	1,078	224	110	29	89	30	98	100	
	3	700					115	30	85	27	97		
	2	500					226	108	29	86	30		98
	3	600						117	31	86	26		98
	2	500				394	116	31	88	32	97		
	3	800					123	32	82	31	98		
	4	1.400					154	41	86	37	99		

ANNEXE VII

BROCHURE D'UTILISATION

ANNEXE VII.1

BROCHURE D'UTILISATION DU PROGRAMME

TRAITEMENT DE LA STRUCTURE GEOMETRIQUE

Les recettes peuvent avoir un nombre variable de gradins, mais pour des raisons techniques (difficulté de roulage) le nombre maximum de gradins par recette a été fixé à trois. Mais si l'on veut ouvrir plus de trois gradins par recette il suffira de redimensionner la variable relative au nombre de gradins par recette.

Si on ouvre la recette I il faut mettre son indicateur d'ouverture IRECT (I) à 1 et le laisser à zéro sinon

Ex : Si on ouvre les recettes 2 et 4 on fait :

IRECT (1) = 0

IRECT (2) = 1

IRECT (3) = 0

IRECT (4) = 1

Si on ouvre trois gradins à la recette 4 et un gradin à la recette 2, on fait

NGRAD (2) = 1

NGRAD (4) = 3

La carte de données relative aux recettes et gradins a pour format

ANNEXE VII.2.

		1111 1					
RECT (1)	NGRAD (1)	IRECT (2)	NGRAD (2)	IRECT (3)	IRECT (4)	NGRAD (4)	

: signifie qu'il faut laisser cette colone blanche

2. REPARTITION DES CAMIONS ENTRE LES GRADINS OUVERTS

A chaque gradin ouvert on affecte un certain nombre de camions ; affectons par exemple trois camions au seul gradin ouvert de la recette 2 et respectivement 3,4,4 camions pour chacun des gradins de la recette 4.

La carte de données relative à la répartition des camions entre gradins a pour format.

Recette 1	Recette 2	Recette 3	Recette 4	

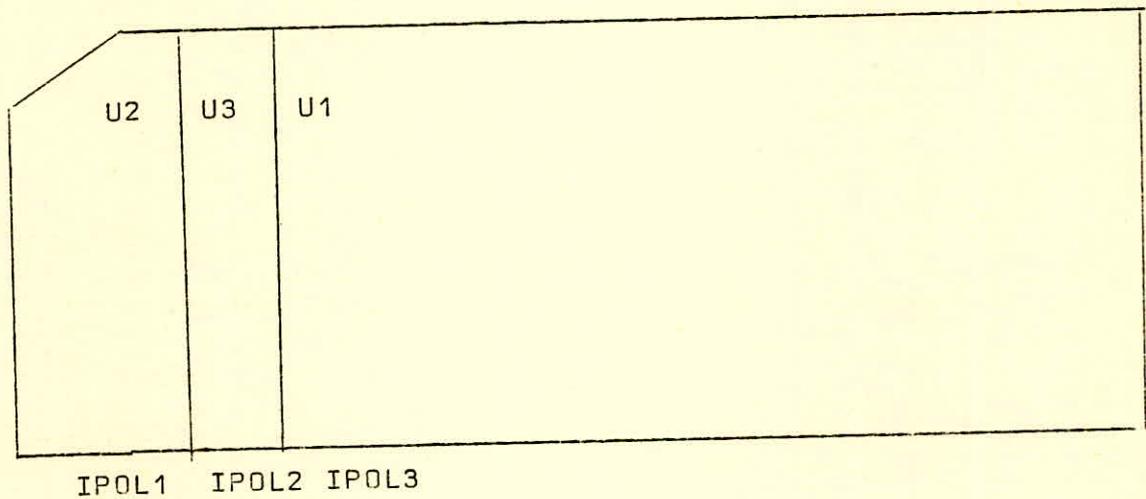
3. POLITIQUE CHOISIE

On peut faire le choix entre plusieurs politiques de gestion du skip dont la liste est donnée en annexe I.

ANNEXE VII.3.

Prenons par exemple la politique de gestion 2,3,1 (pour laquelle on a : IPOL1 = 2, IPOL2 = 10, IPOL3 = 15)

La carte de données relative aux politiques a le format suivant :



4. DEPLACEMENT DU SKIP

Les cartes de données relatives aux déplacements du skip restent inchangées et ne peuvent donc être modifiées par l'utilisateur sauf si les vitesses de déplacements du skip sont modifiées, ce qui est peu probable.

5. TYPE DE PELLE

A chaque type de pelle est affecté un numéro.

Supposons que les types de pelle soient 1 pour le gradin de la recette 2, et respectivement 3,1,1 pour les trois gradins de la recette 3.

ANNEXE VII.4.

La carte de données relative au type de pelle afférente à ce gradin est :

UUU	UUU	UUU	UU1	UUU	UUU	UU3	UU1	UU1	UUU	UUU	UUU
Recette 1			Recette 2			Recette 3			Recette 4		

6. TEMPS DE SIMULATION

L'unité de temps de simulation a été exprimé en tonnage. Si on veut suivre l'évolution de la simulation, on fera plusieurs sorties partielles contrôlées par un tableau TSORT.

Le premier chiffre de ce tableau est réservé pour la mise en route (partie de la simulation pour fixer dans le temps et dans l'espace, d'une façon plus réelle, chacun des engins).

Par exemple si on veut trois sorties :

- 1ere sortie après une simulation de 300.000 Tonnes
- 2ème sortie après une simulation de 500.000 Tonnes
- 3ème sortie après une simulation de 200.000 tonnes

ANNEXE VII.5.

Si on fait une mise en route de 50.000 tonnes, en mémoire on aura le tableau suivant :

50.000
300.000
500.000
200.000

On peut faire jusqu'à 19 sorties partielles.

La carte de données relative au contrôle des sorties partielles a pour format :

500 . 3000 . 5000 .

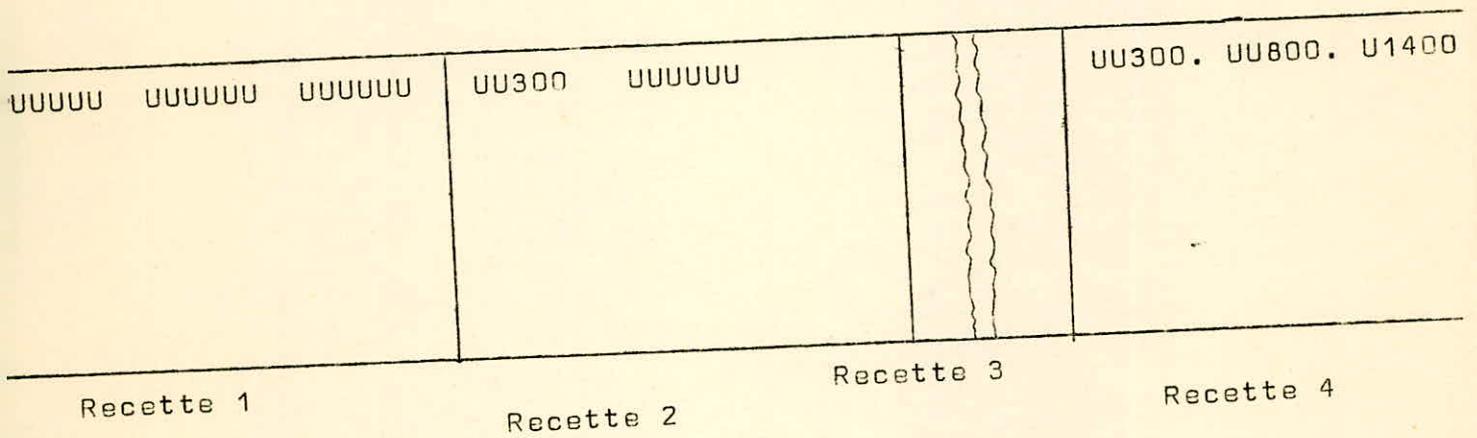
Quatre colonnes sont réservées pour chaque sortie. Sur la carte les tonnages sont divisés par 100. Par exemple 5000. correspond à 500.000 tonnes.

ANNEXE VII.6.

7. DISTANCES GRADIN-RECETTE

Supposons qu'on ait ouvert un gradin à la recette 2 distant de 300 mètres du point de déchargement et trois gradins à la recette 4 distants respectivement de 300 m, 800 m et 1400 mètres du point de déchargement des camions.

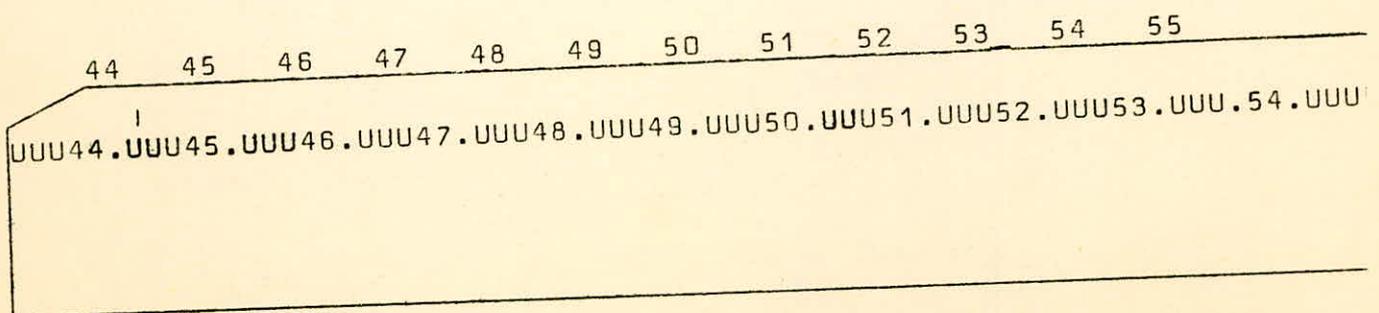
La carte de données relative aux distances gradin-recette a pour format.



8. TABLES RELATIVES AUX ENGINES

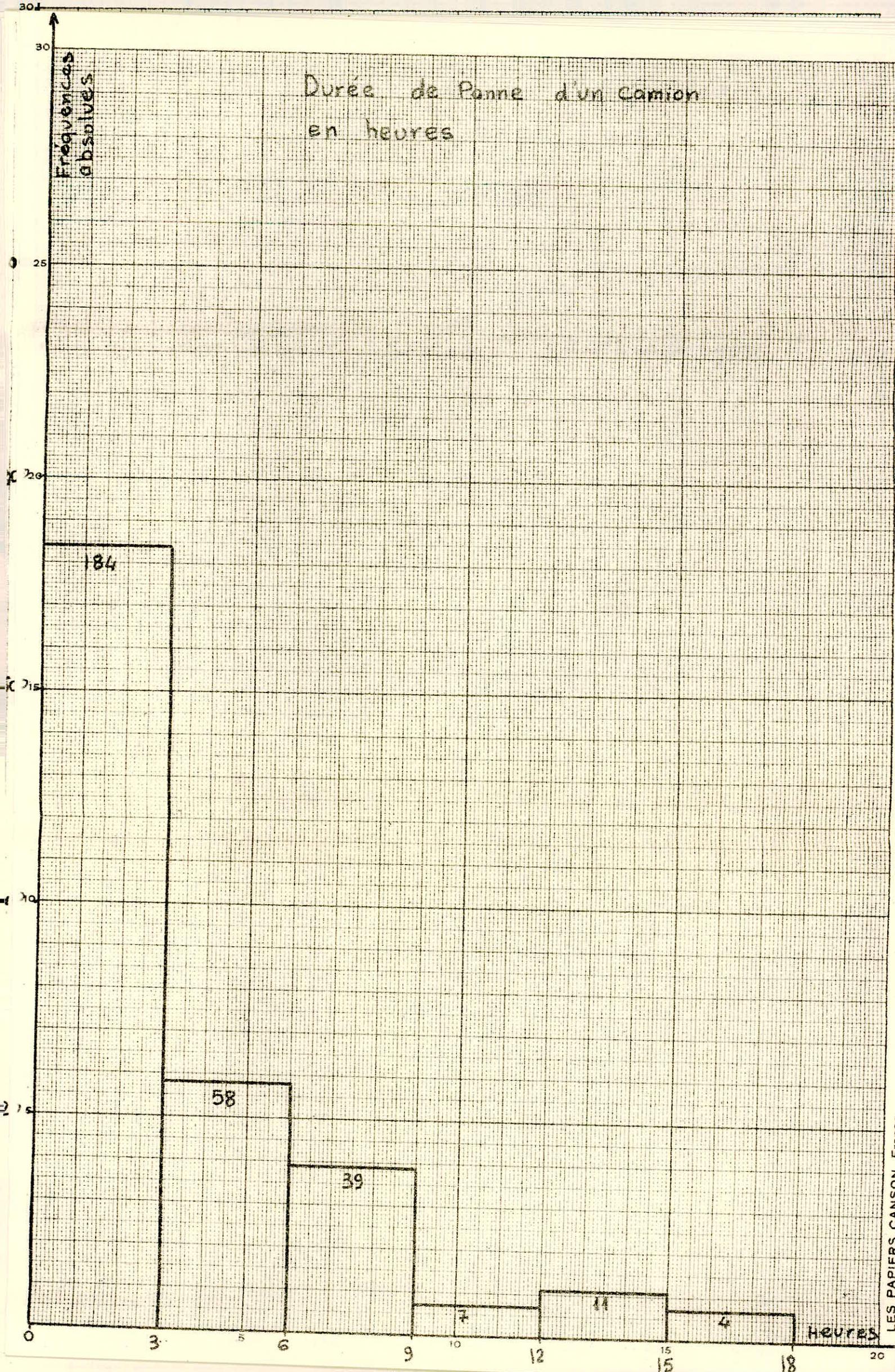
La liste des tables relatives aux engins est donnée dans le chapitre D. Ces tables comprennent les temps de déplacement à vide et à plei les temps de chargement, de déchargement, de manoeuvre, etc... On rappelle que les tables sont constituées de onze valeurs obtenues à partir des courbes des fréquences cumulées.

Supposons que l'on veuille inscrire les valeurs suivantes :



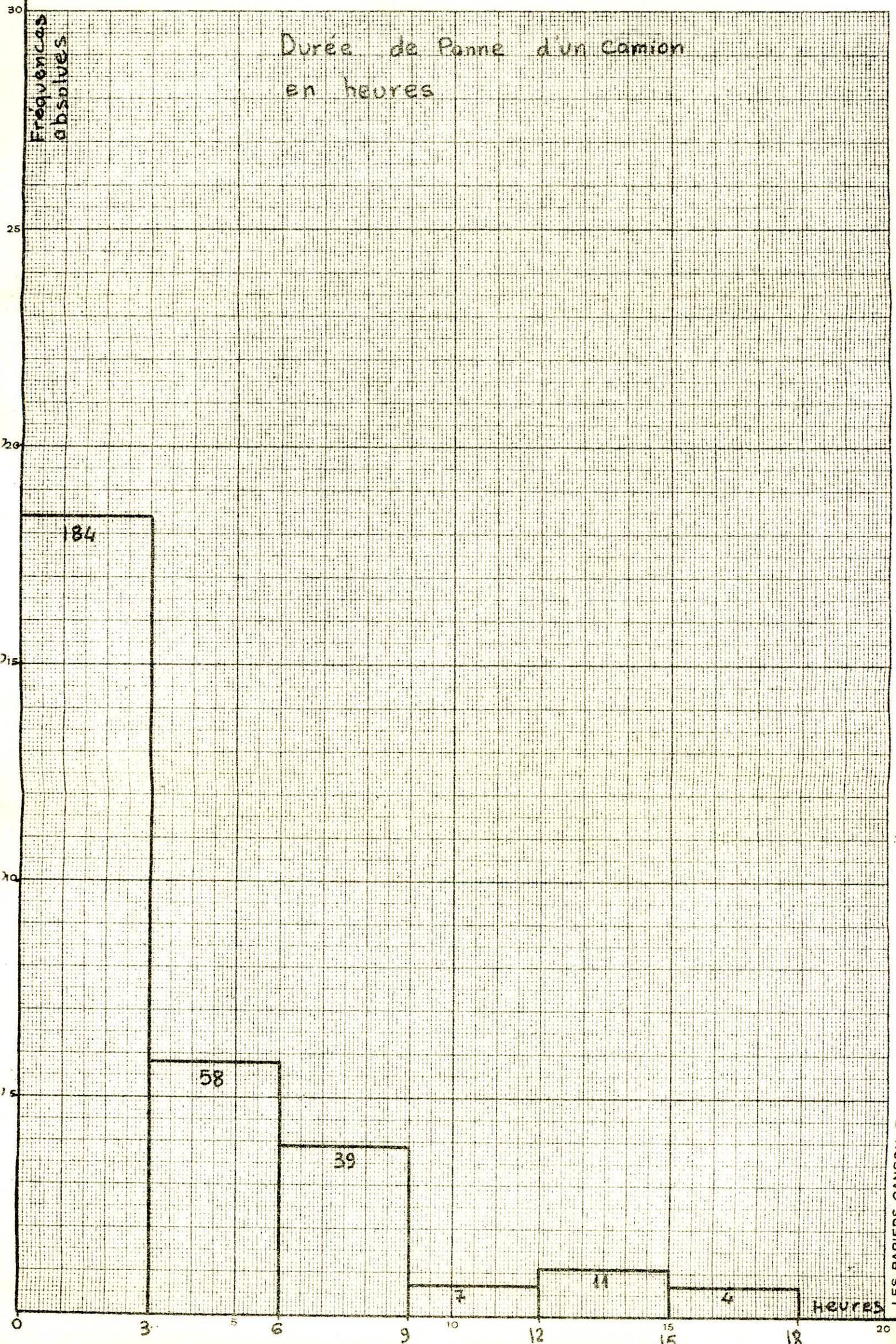
Durée de Panne d'un Camion en heures

Fréquences absolues



Durée de Panne d'un Camion en heures

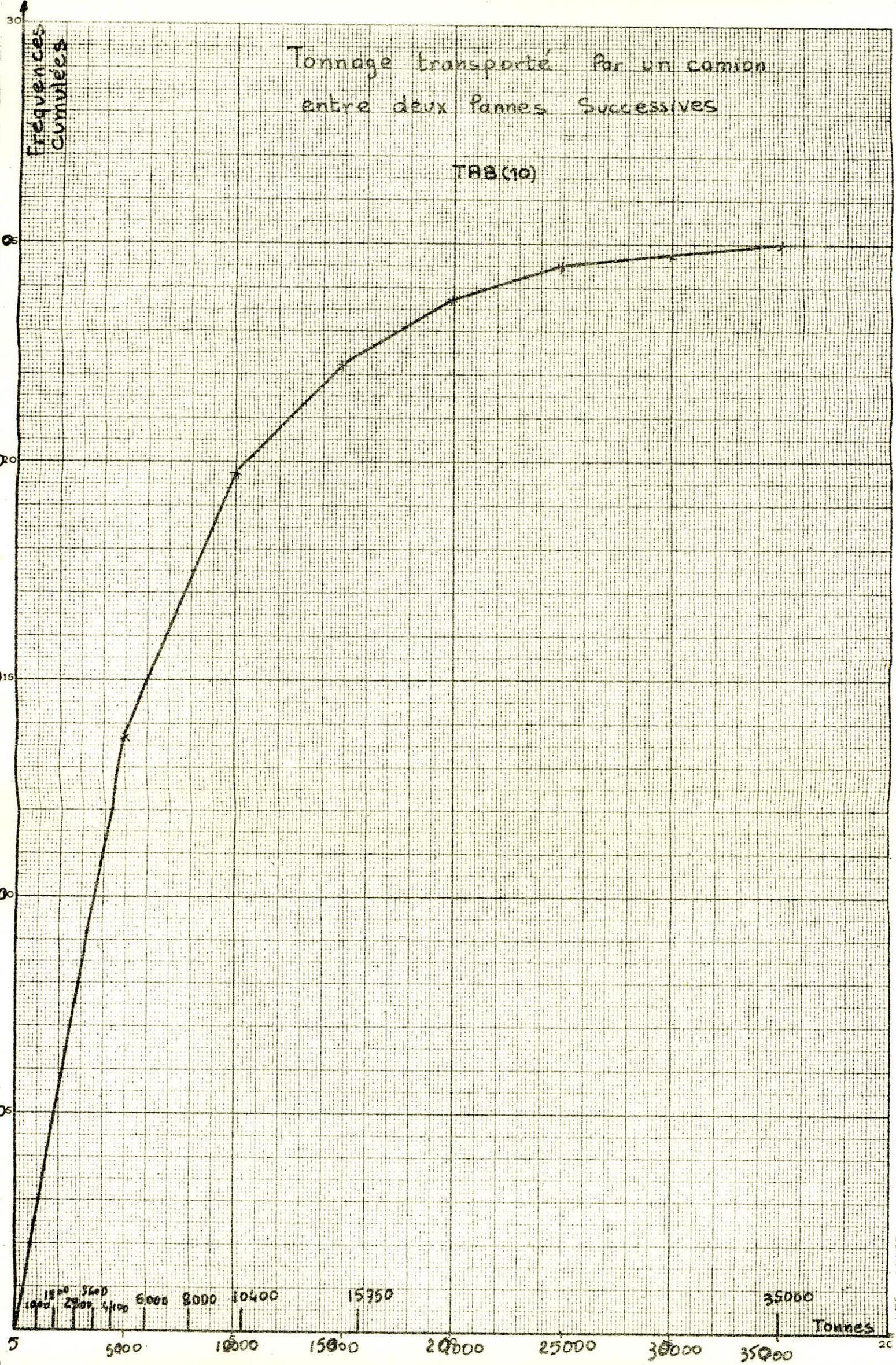
Frequences
absolues



Tonnage transporté par un camion
entre deux Panes Successives

TAB(10)

Frequences
Cumulees

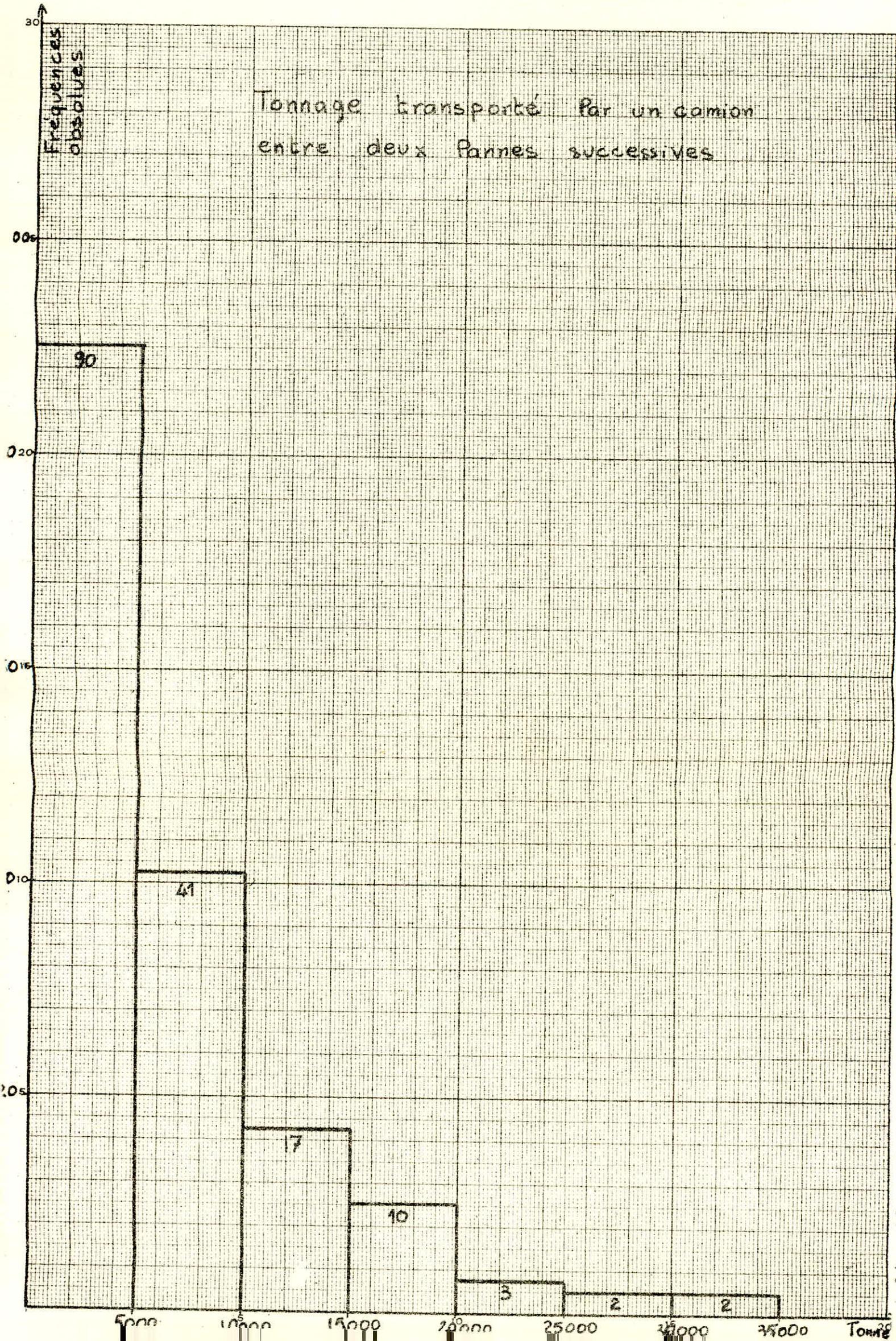


Tonnes

5 5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000 20

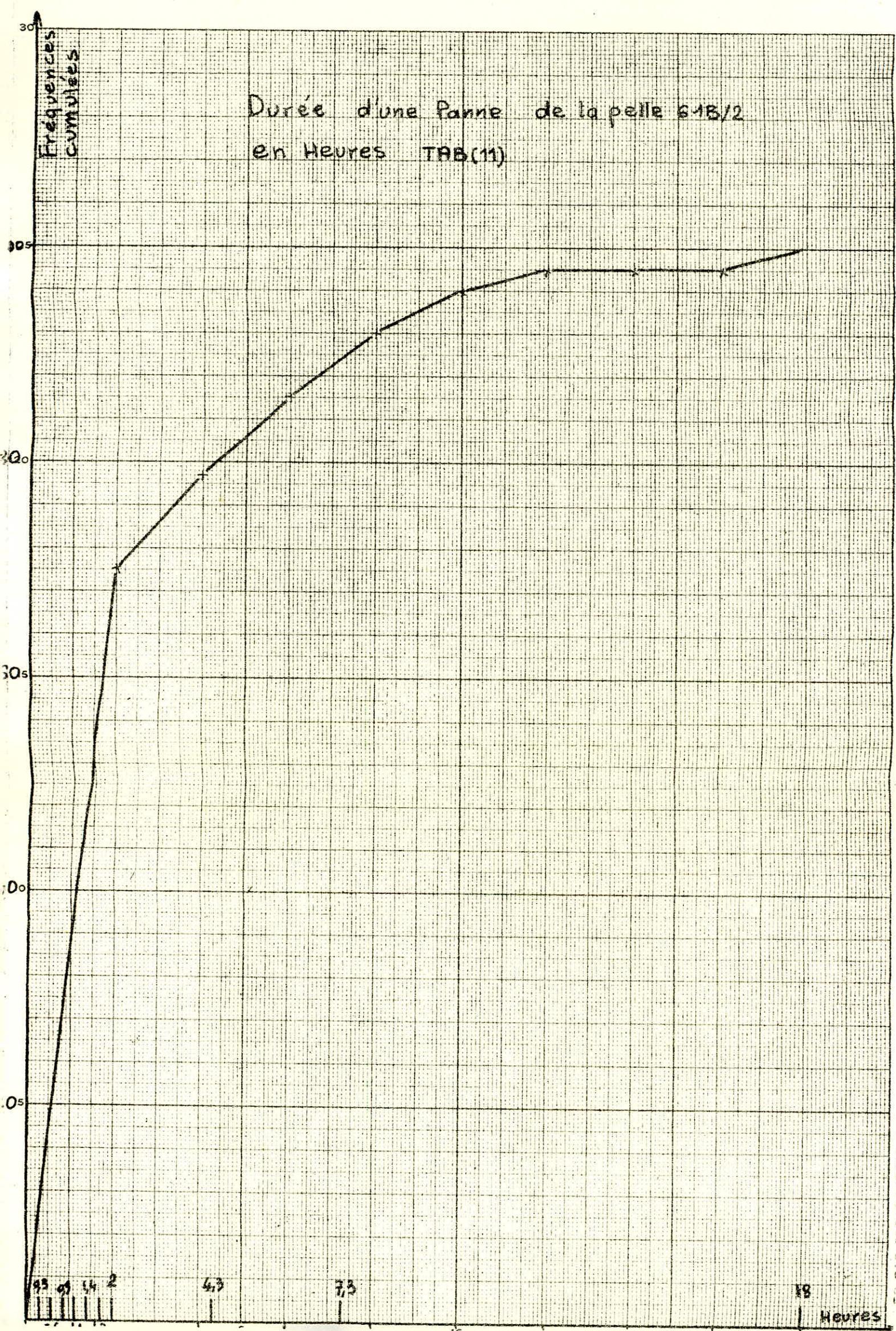
Frequences
absolues

Tonnage transporté par un camion
entre deux Panes successives



Durée d'une Panne de la pelle 61B/2
en Heures TAB(11)

Fréquences
cumulées



0.5 1.0 1.5 2.0

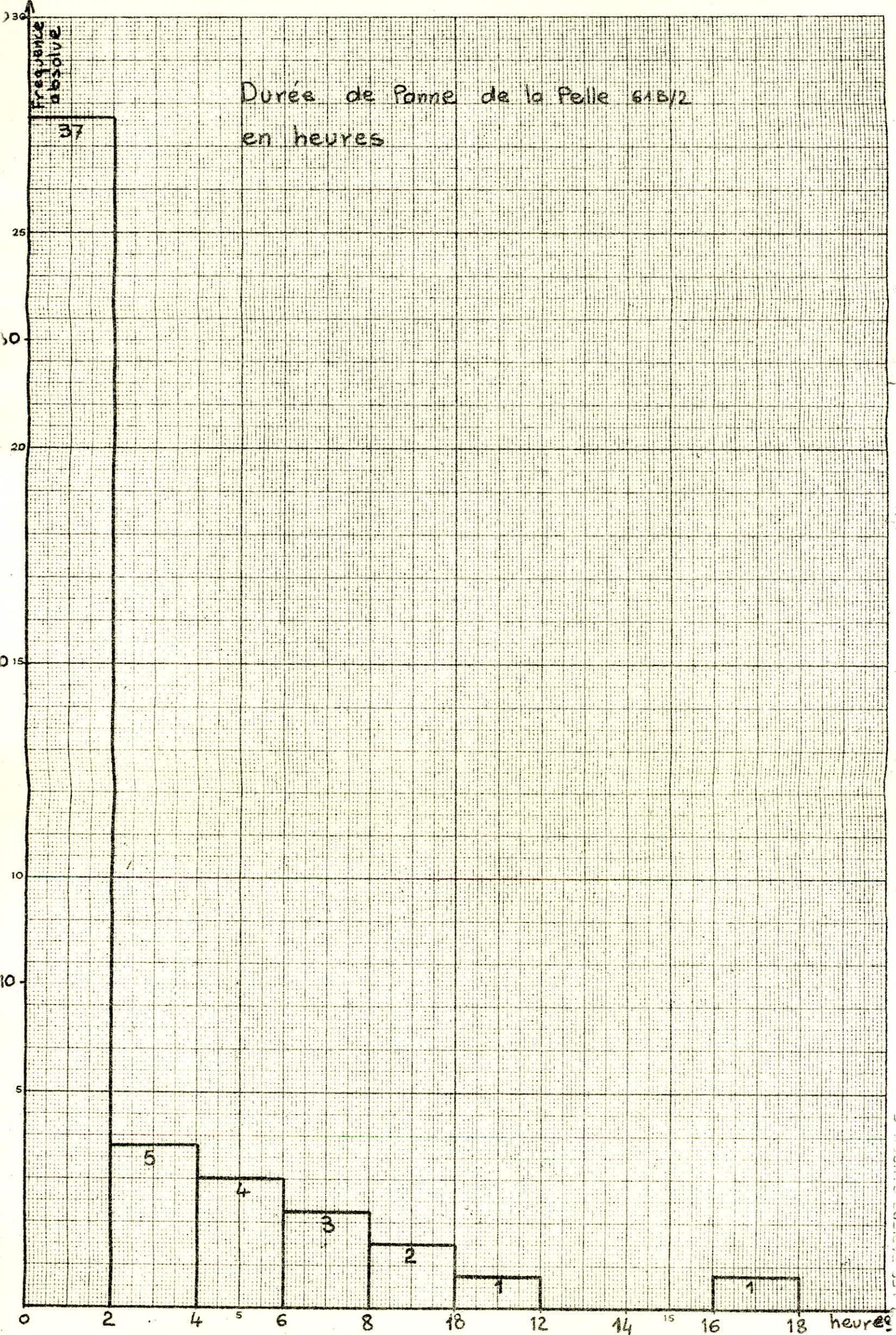
4.0

7.0

10

Heures

Durée de Pomme de la Pelle 61B/2
en heures



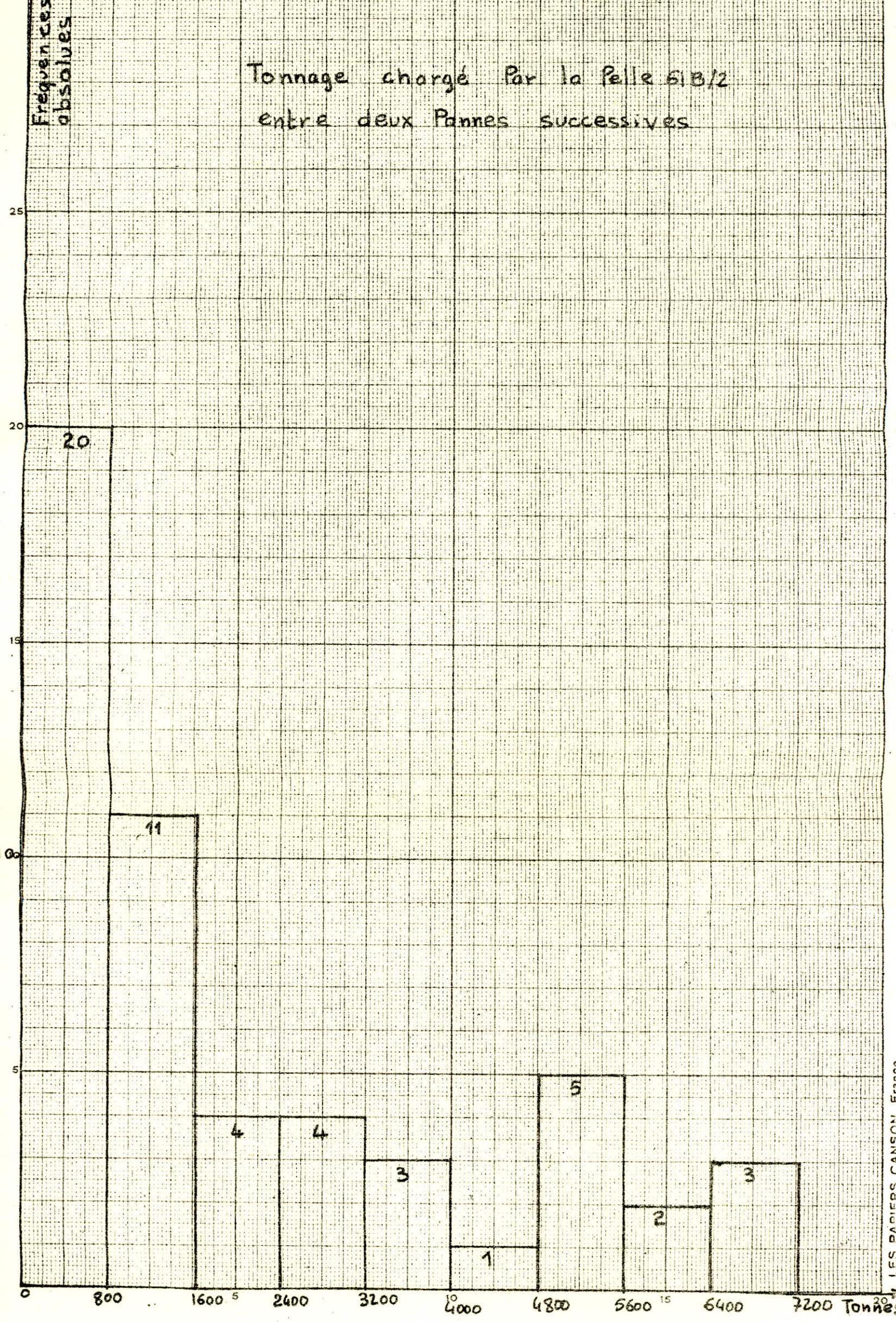
Tonnage chargé par la pelle G18/2
entre deux Panes Successives

TAB(12)



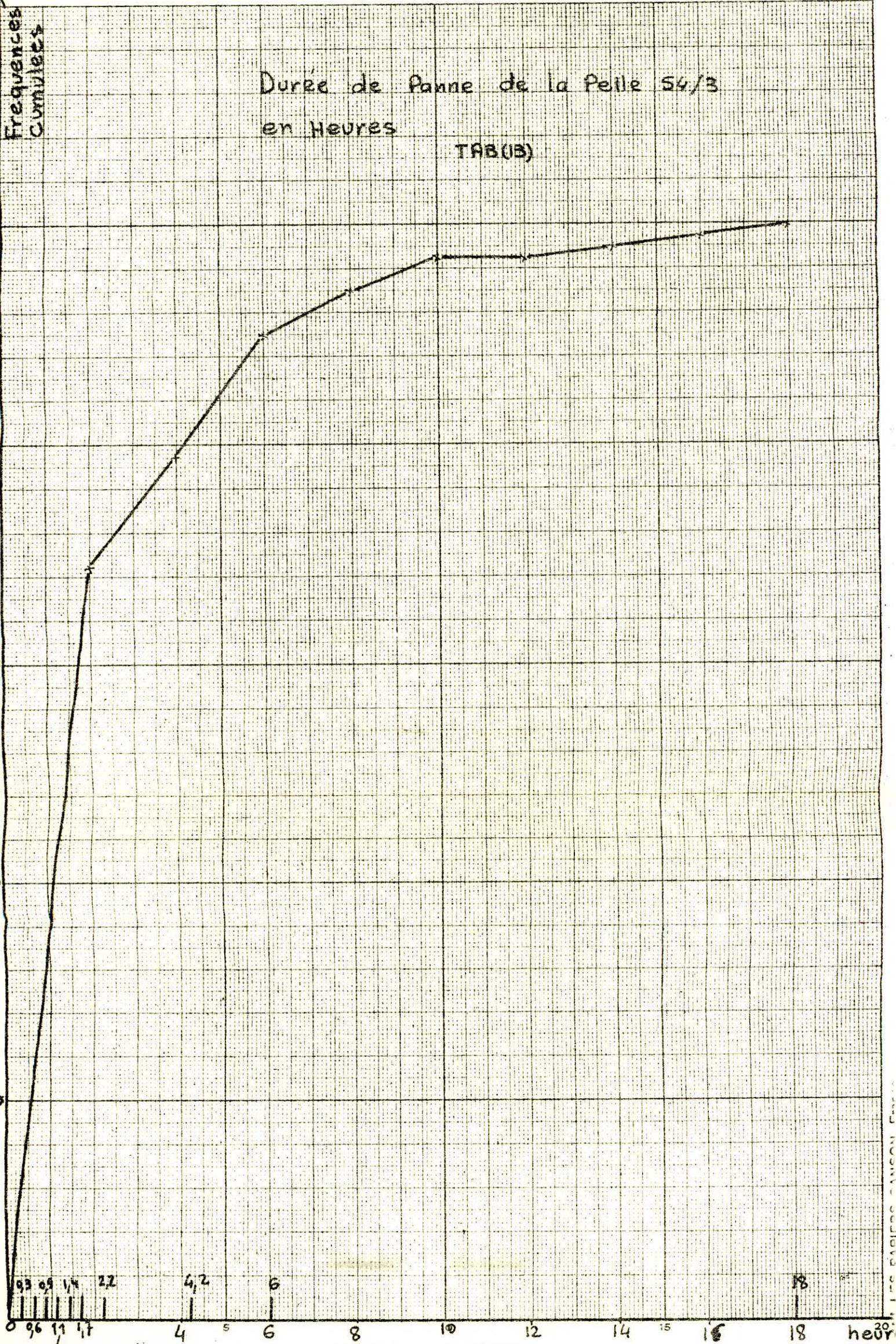
Fréquences
absolues

Tonnage chargé Par la Pelle 61B/2 entre deux Pannes successives

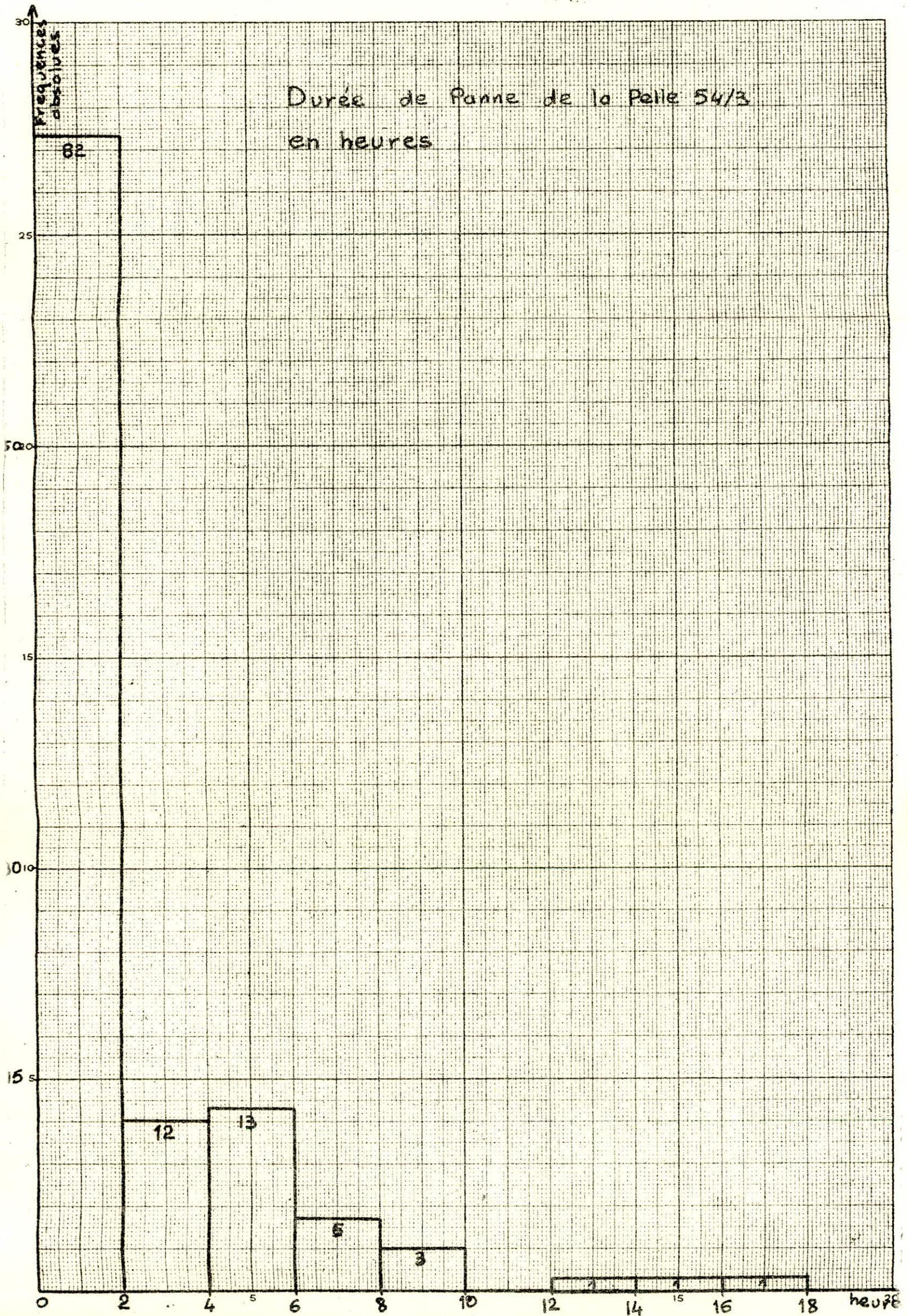


Durée de Panne de la Pelle 54/3
en Heures

TAB(13)

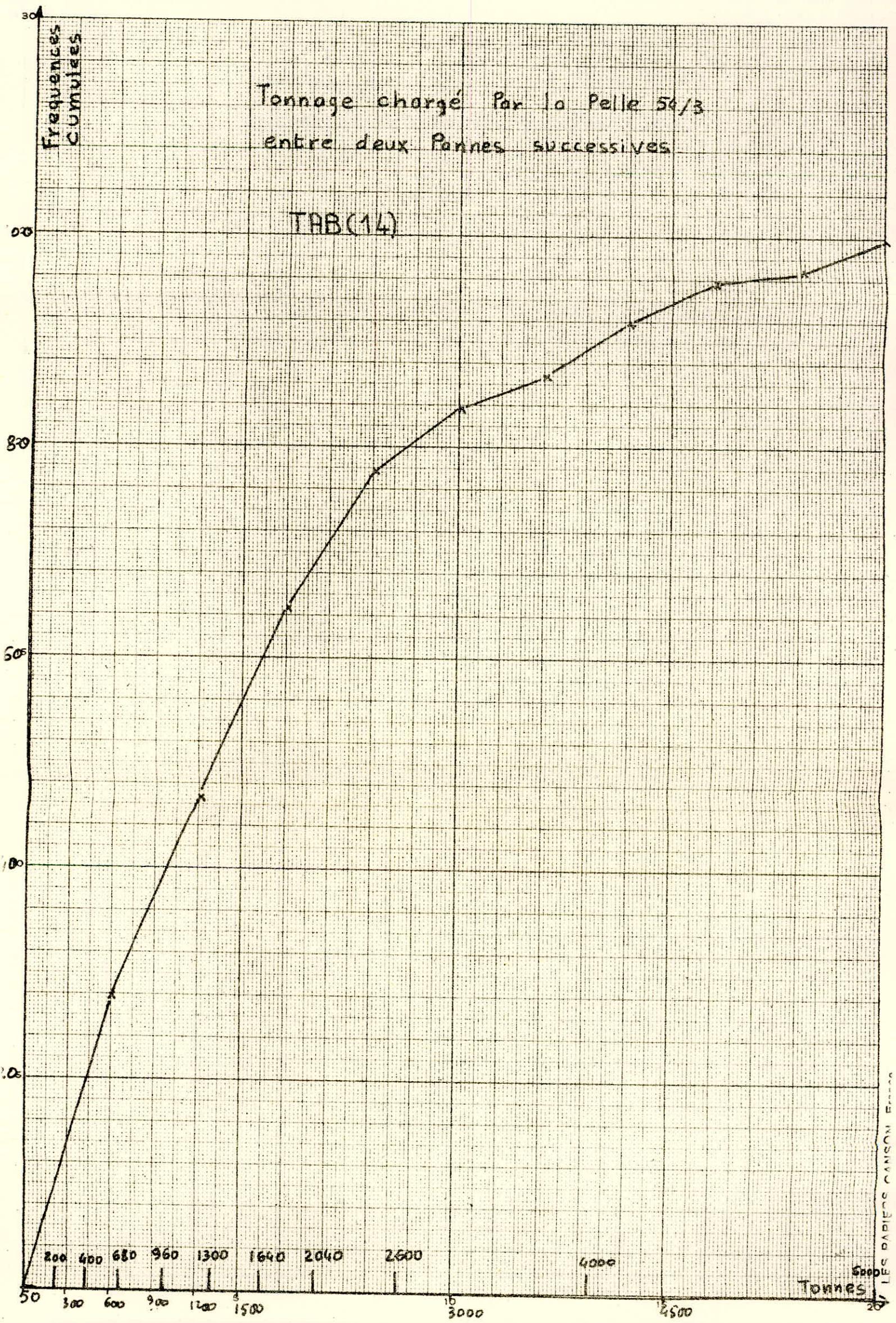


Durée de Panne de la Pelle 54/3
en heures



Tonnage chargé Par la Pelle 54/3
entre deux Pannes successives

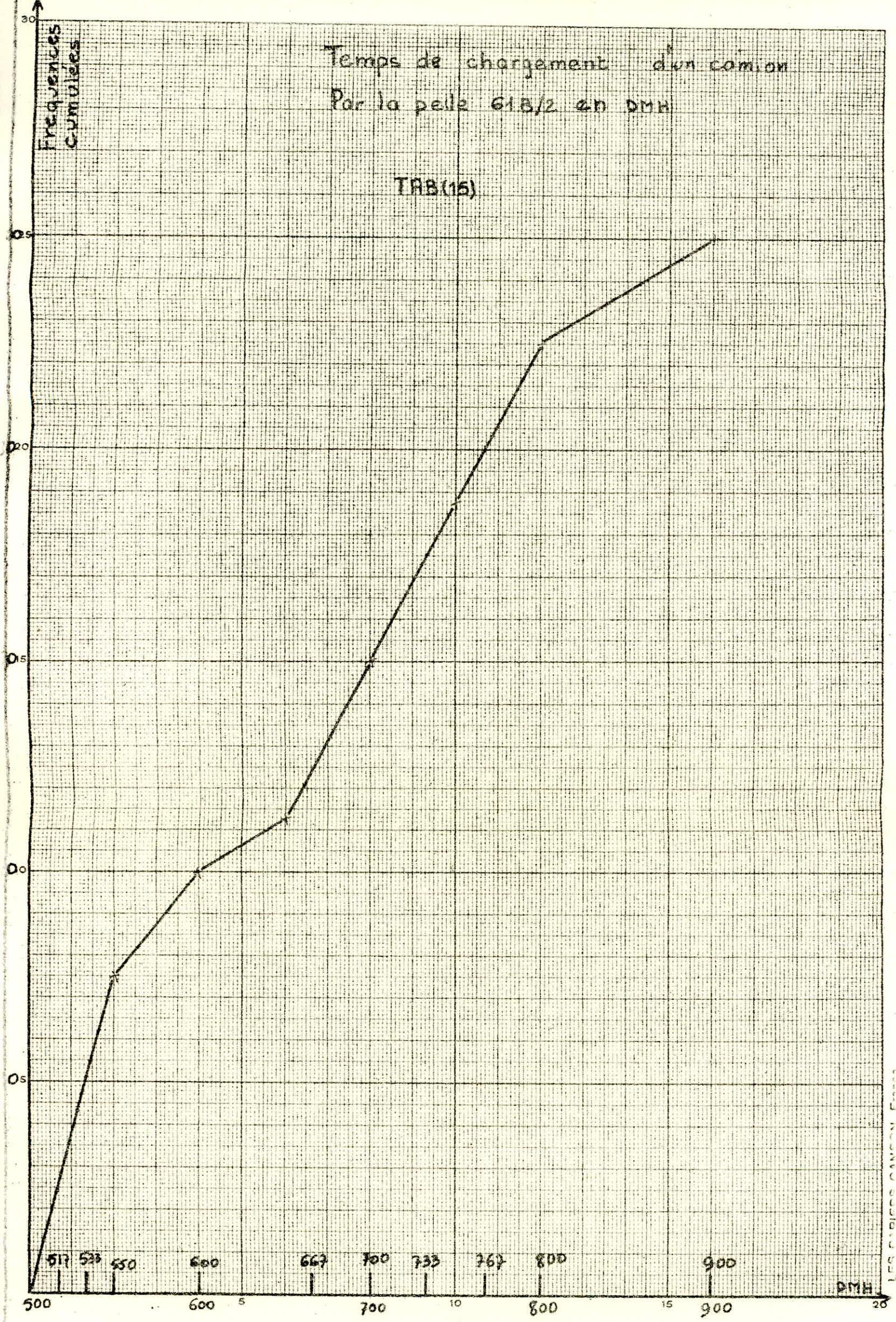
TAB(14)



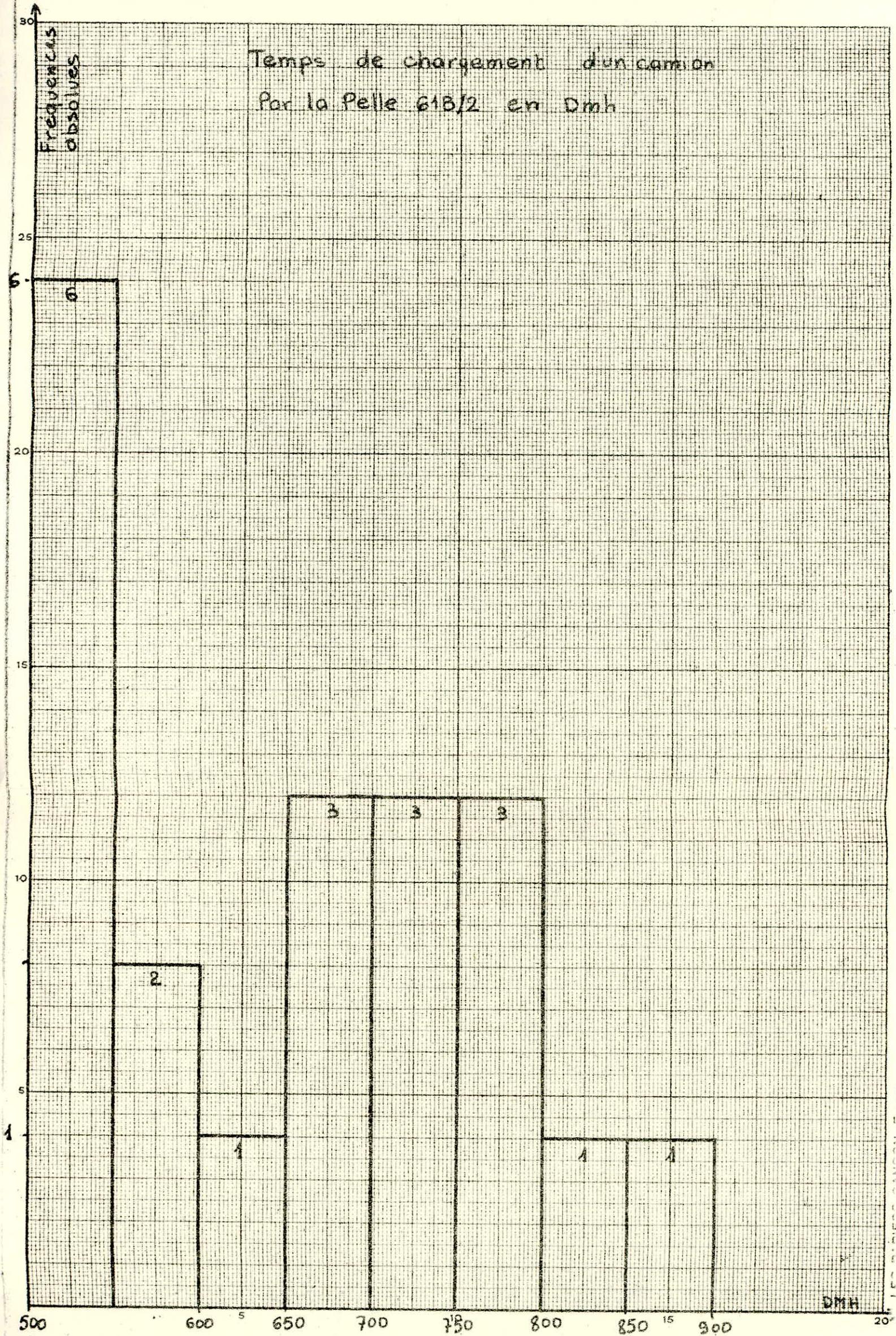
LES PAPIERS CANSON FRANCE

Temps de chargement d'un camion
Par la pelle 618/2 en DMH

TAB(15)



Temps de chargement d'un camion
Par la Pelle 618/2 en Dmh



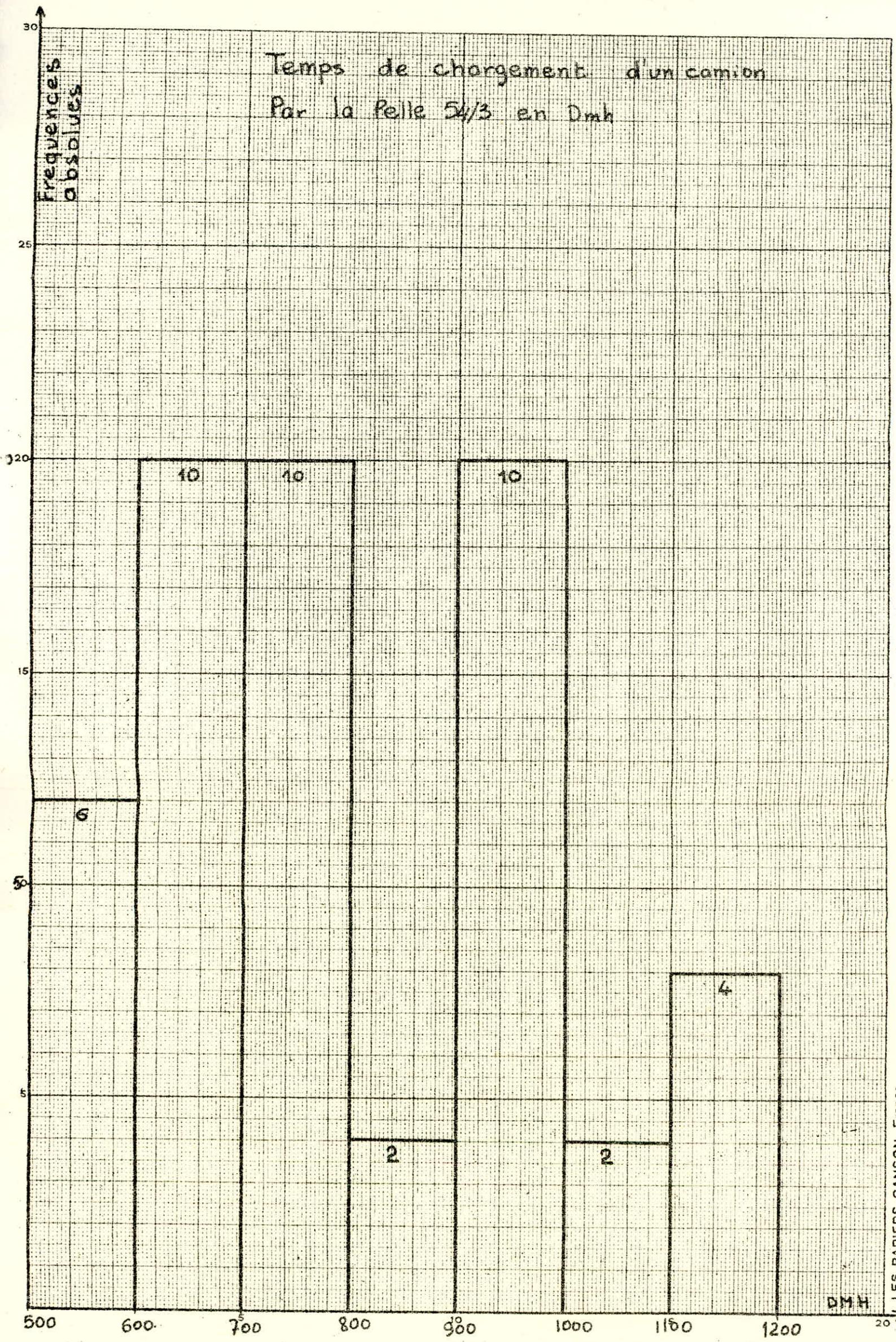
Temps de chargement d'un camion
Par la Pelle 54/3 en DMH

TAB(17)



Temps de chargement d'un camion
Par la Pelle 54/3 en Dmh

Frequences
absolues



Lecture des données

Lecture des Politiques

Impression des données et des Politiques

Initialisation des horloges

CYCLE(1, I, J, K)

CYCLE(4, I, J, K)

CYCLE(5, I, J, K)

CYCLE(2, I, J, K)
NSORT=1

CYCLE(3, I, J, K)
Fin Simulation?

TABLE(1, K)

RANDO(INDEX, NP)

PANNE

TABLE(2, K)

ECRIT

ADIT

choix de la recette IP

DEPRI

Dachargement de deux Camions

Dachargement d'un camion

calcul et impression des coûts

FIN

— sequence logique
--- appel au sous programme

