



# RECHERCHES TRANSPORT

BULLETIN D'INFORMATION SCIENTIFIQUE

Volume thématique no 4 : février 1990

## RAPPORT PRÉLIMINAIRE DE L'ÉTUDE SUR L'ORNIÉRAGE

MARIO MONTÉGIANI ET HÉLÈNE POULIN  
SERVICE DE LA STATISTIQUE ET DE  
L'ÉCONOMIE DES TRANSPORTS  
DIRECTION DE LA RECHERCHE  
MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,  
21<sup>e</sup> ÉTAGE  
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA  
G1R 5H1

### INTRODUCTION

L'importante utilisation du système routier amène les autorités du ministère des Transports à être le plus efficace possible dans la gestion des routes. La recherche de cette efficacité passe par la résolution des différents problèmes auxquels il est confronté. Ses problèmes les plus importants sont ceux qui touchent, en même temps, à divers aspects du transport. Ainsi, lorsqu'un problème technique touche un aspect aussi important que la sécurité des usagers, il est traité avec grande attention.

CANQ  
TR  
248  
V. 4

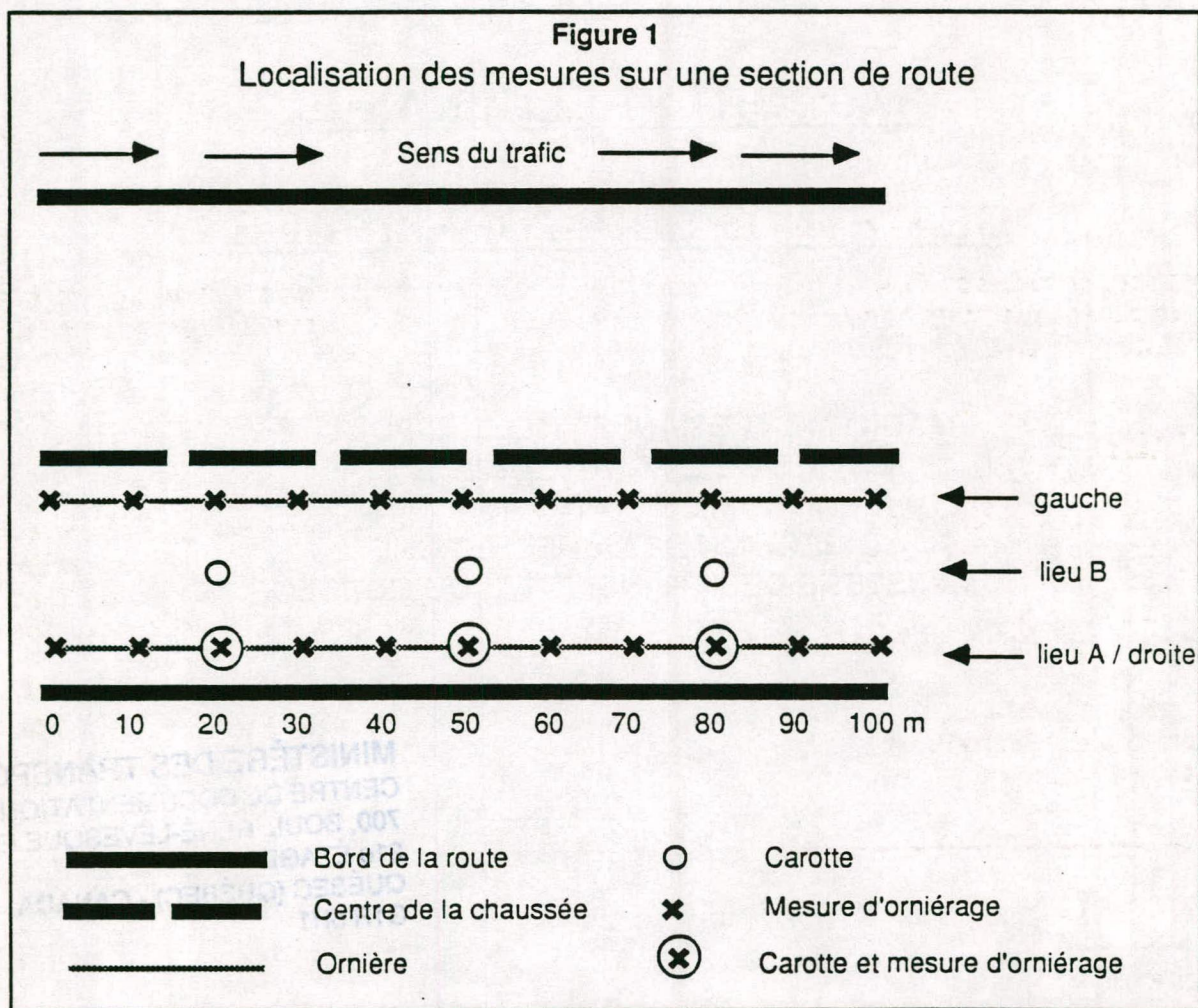
Québec 

L'orniérage est un de ces problèmes. En plus d'être un défaut technique du pavage, il met en jeu la sécurité des usagers de la route. Donc, les ornières (dépressions longitudinales dans la chaussée situées dans le sentier préférentiel des roues des véhicules) doivent être éliminées le plus rapidement possible des routes du Québec. Dans ce but, une expérience a été planifiée et réalisée.

Voici une partie fragmentaire des résultats de celle-ci.

## SITUATION

À la fin de l'année 1987, des relevés d'ornières jumelés à la prise d'échantillons de sol (carottes) ont été recueillis sur 31 sections de l'autoroute 20. Pour chacun de ces sites, 6 carottes furent recueillies. La figure 1 explique de quelle manière ces carottes furent prises.



Pour chaque carotte recueillie, deux unités furent formées: une de surface et une de fondation. À partir de ces unités, plusieurs tests furent faits dans le but de connaître les caractéristiques du sol à ces endroits. En tout, plus de 50 variables sont maintenant disponibles pour chacune des 372 unités recueillies.

Cet échantillon constitue une source précieuse de renseignements sur le phénomène de l'orniérage. De plus, comme le client l'avait demandé, l'ensemble de données est construit de façon à pouvoir apporter des réponses aux questions fondamentales sur les causes de l'orniérage. La seule condition à respecter pour avoir ces réponses est une analyse adéquate.

## RELATION CORRÉLATIONNELLE

Dernièrement, vers la fin du mois de novembre, en même temps que parvenait la dernière série de données constituant l'échantillon, une étude corrélationnelle et factorielle fut faite. Plus précisément elle concernait les points suivants:

- 1 - Établir les corrélations, pour les unités de surface seulement, entre la cote pondérée moyenne (COTPOMOY) et les variables suivantes: la pente au maximum dans le test avec le test Marshall (PENITE), le pourcentage de volume vide dans le mélange (VOLVIDE), le total granulométrique (TG), l'angularité à 2 mm (ANGUL2), l'angularité à 5 mm (ANGUL5), le test du HVEEM (HVEEM) et le pourcentage de gravier dans le mélange (POURCGRA).
- 2 - Tracer les graphiques des relations entre les paires de variables suivantes:

- COTPOMOY et PENITE
- COTPOMOY et VOLVIDE
- COTPOMOY et TG
- COTPOMOY et ANGUL2
- COTPOMOY et ANGUL5
- COTPOMOY et HVEEM
- COTPOMOY et POURCGRA

Le choix du calcul des coefficients de corrélation est l'instrument privilégié pour mesurer un lien existant entre deux groupes de variables, ce qui semble approprié à la situation présente. De plus, l'utilisation de graphiques est un moyen bien adapté pour visualiser les tendances.

## ANALYSE

Le coefficient de corrélation mesure le lien, s'il existe, entre deux groupes de variables. Borné entre -1 et 1, la valeur absolue de celui-ci indiquera l'importance du lien. Ainsi, un coefficient de 0,2014 signifiera un lien peu important entre les variables, alors qu'un coefficient de -0,9675 signifiera un lien très important. De plus, grâce à un test, il est facile de savoir si la relation que nous avons imaginée (c.-à-d. la construction du coefficient de corrélation) est significative.

Le tableau 1 fournit tous les coefficients de corrélation calculés ainsi que les probabilités d'accepter l'hypothèse que le coefficient est égal à 0. On peut retrouver aussi tous les graphiques se rapportant à l'analyse à l'annexe 1.

| TABLEAU 1<br>Corrélations entre les variables  |                    |                    |                    |                    |                   |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| coef. corr.<br>valeur - p*   | pente              | volvide            | tg                 | angul2             | angul5            | hveem              | pourcgra           |
| cotpomoy   | -0,13054<br>0,1588 | -0,01112<br>0,9036 | -0,02618<br>0,7738 | -0,18139<br>0,0447 | 0,04083<br>0,6538 | -0,19443<br>0,0373 | -0,04778<br>0,5998 |
| * : p étant la probabilité d'accepter l'hypothèse qu'il n'existe pas de lien entre les deux variables considérées. |                    |                    |                    |                    |                   |                    |                    |

DOR-CEP-MOR

CANQ  
TR  
248  
v. 4

En regardant attentivement les valeurs obtenues, il apparaît que seules deux corrélations sont significatives: un lien entre la cote pondérée moyenne et l'angularité à 2 mm, et l'autre entre la cote pondérée moyenne et le test du HVEEM.

Par contre il est à noter que même si elles sont différentes de 0, elles ne sont pas très élevées. Il serait donc imprudent d'en déduire automatiquement que la variation des deux variables retenues (ANGUL2 et HVEEM) influence, d'une façon marquée, la variable COTPOMOY.

Bien que les résultats précédents correspondaient intégralement à ceux des relations corrélacionnelles recherchées, il serait intéressant de s'interroger sur la signification de ceux-ci. En fait, est-ce que ces résultats apportent bien ce qui est important de savoir?

Pour répondre à cette question, il faut considérer trois points:

### 1 - Choix de la variable COTPOMOY

Pour bien comprendre toute l'importance de ce choix, il faut se rappeler que cette variable est la moyenne de toutes les mesures prises sur le site. Ceci a pour effet de considérer toutes les valeurs d'orniérage sur 100 m, autant dans l'ornière droite que dans l'ornière gauche (22 mesures).

Puisque le but recherché est de connaître s'il existe une corrélation entre la cote pondérée de l'ornière et les différentes variables mesurées dans le sol à cet endroit, **prendre la moyenne de ces mesures n'est peut-être pas la meilleure variable à utiliser**. Comme la seule mesure d'ornière reliée aux caractéristiques de la carotte est située au-dessus de celle-ci, il serait préférable de ne considérer qu'elle.

### 2 - Choix de tous les échantillons de surface

Toutes les unités (demi-carottes) de surface ont été choisies (selon les informations reçues, il n'est pas question de considérer les unités de fondation puisque les caractéristiques sont différentes). En tout, six unités de surface sont recueillies pour chacun des sites: trois dans l'ornière droite et trois entre les deux ornières. De celles-ci, quatre, deux dans l'ornière droite et deux au centre, ont été analysées et sont utilisables pour les calculs.

À l'instar du premier point, il semble qu'il ne s'agisse pas là de la meilleure façon de faire. Les unités prises dans le lieu B (c.-à-d. entre les deux ornières) ne sont pas orniérées. **il serait donc préférable de ne pas utiliser ces unités**. Dans ce cas-ci, il serait plus juste de ne prendre que les unités de surface dans l'ornière droite.

### 3 - Ornières doubles

Dans l'échantillon recueilli, à quelques endroits, il est possible de retrouver des ornières doubles. Ces cas, peu nombreux, ne sont pas considérés dans cette étude.

À première vue, il ne semble pas très rigoureux de faire la moyenne des deux ornières pour analyser ce genre de problème. Pourtant, c'est ce qui, implicitement, est fait dans ce genre d'étude. **Il serait préférable d'accorder une importance différente à la cote d'orniérage pondérée lorsqu'il y a présence d'ornière double**.

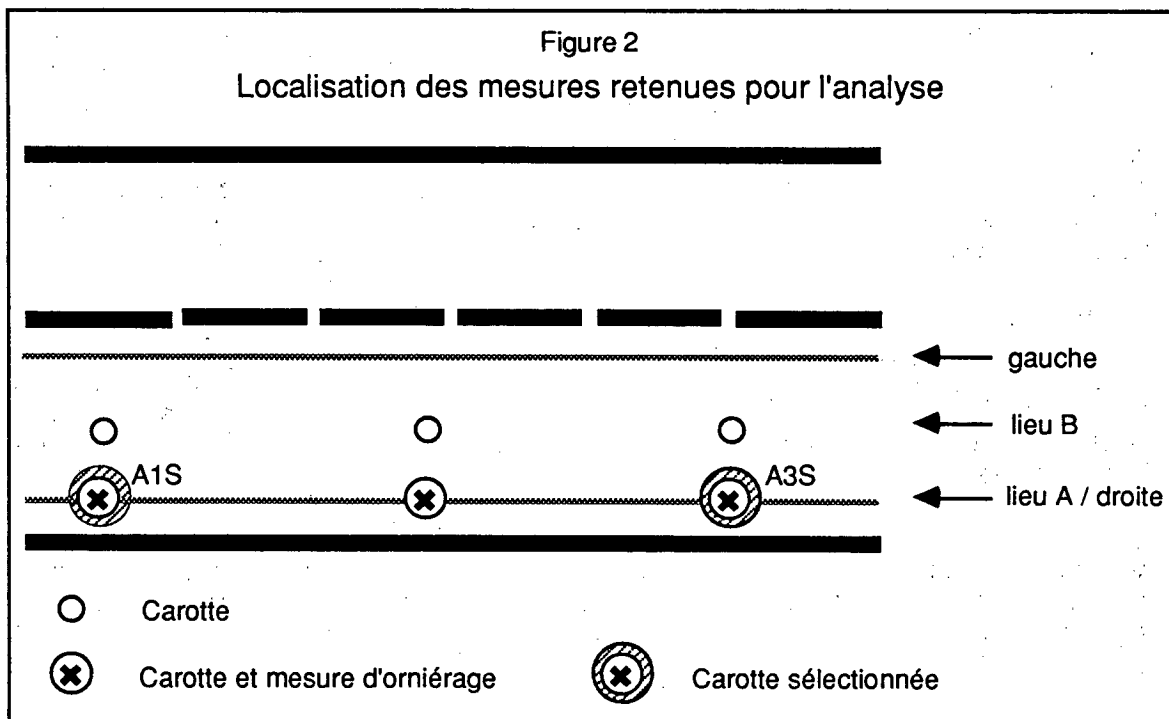
À la lumière des trois points précédemment traités, il semble que la meilleure façon de procéder pour trouver l'information désirée serait de chercher les corrélations entre les cotes pondérées d'ornière correspondant aux unités orniérées (cf. figure 2) et les variables choisies.

En d'autres termes, il faudra prendre les mesures d'ornières à 20 et 80 m dans l'ornière droite et les jumeler avec les variables mesurées sur les unités A1S et A3S, pour ensuite calculer les corrélations qui sont intéressantes. Il faudra aussi trouver un moyen de tenir compte des endroits où il y a des ornières doubles.

Cette méthode est celle qui semble contenir exactement l'information nécessaire, ni plus ni moins, qui permet de savoir s'il existe un lien entre la cote d'orniérage pondérée d'une route et les diverses variables choisies.

Cependant, même si cette façon de procéder est la bonne, elle ne garantit en aucun cas de meilleurs résultats que celle qui a déjà été expérimentée.

Différentes tentatives ont été faites pour tester le moyen préconisé. L'essai de plusieurs combinaisons plutôt que d'une seule a été nécessaire, car aucun moyen connu n'est disponible pour introduire dans le calcul des corrélations les ornières doubles. Dans ces essais, il n'y a que les enregistrements considérés utilisables (A1S et A3S), avec leurs mesures ponctuelles d'orniérage (20 m et 80 m), qui ont été conservés pour analyse.



À partir de ces enregistrements, voici des constructions possibles de variables de cote d'ornière qui essaient de tenir compte des points précédemment traités:

cotemin: la valeur minimum des mesures d'ornières du côté droit (dans le cas d'une ornière simple on prend l'unique mesure) qui est ensuite pondérée;

cotemax: la valeur maximum des mesures d'ornières du côté droit (dans le cas d'une ornière simple on prend l'unique mesure) qui est ensuite pondérée;

cotemoy: la moyenne des valeurs d'ornières mesurées au-dessus des carottes prises dans l'ornière droite (dans le cas d'une ornière simple on prend l'unique mesure) qui est ensuite pondérée;

cotesom: la somme des valeurs des mesures d'ornières du côté droit (dans le cas d'une ornière simple on prend l'unique mesure) qui est ensuite pondérée.

Ces variables ont toutes été utilisées, avec les variables qui étaient présentes dans la demande, pour calculer, à nouveau, les coefficients de corrélation. Les nouveaux résultats se trouvent au tableau 2.

| Tableau 2  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Corrélations à partir de nouvelles définitions de cotes d'ornière  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| coef . corr<br>valeur - p*   | pen                | vol                | tg                 | angul2             | angul5             | hveem              | pourcgra           |
| cotemin  | -0,14609<br>0,2696 | -0,05636<br>0,6889 | -0,05271<br>0,6866 | -0,17440<br>0,1789 | -0,00810<br>0,9506 | -0,04607<br>0,7336 | -0,02328<br>0,8587 |
| cotemax  | -0,14578<br>0,2706 | -0,06543<br>0,6194 | -0,03846<br>0,7686 | -0,15095<br>0,2455 | -0,00174<br>0,9894 | -0,06178<br>0,6480 | -0,03051<br>0,8154 |
| cotemoy  | -0,14606<br>0,2697 | -0,06108<br>0,6429 | -0,04542<br>0,7281 | -0,16249<br>0,2109 | -0,00483<br>0,9705 | -0,05415<br>0,6891 | -0,02702<br>0,8362 |
| cotesom  | -0,13480<br>0,3087 | -0,09699<br>0,4610 | 0,02343<br>0,8577  | -0,04693<br>0,7195 | 0,02286<br>0,8612  | -0,12759<br>0,3442 | -0,05950<br>0,6487 |
| * : p étant la probabilité d'accepter l'hypothèse qu'il n'existe pas de lien entre les deux variables considérées. |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |

À la lumière de ces résultats, il semble bien que le calcul de façon isolé de certaines corrélations ne soit pas suffisant pour tirer des conclusions sur le problème de l'orniérage.

#### RECOMMANDATION

Il semble que ce genre d'analyse partielle ne puisse répondre aux importantes questions suivantes:

- Quel type de bitume, parmi ceux les plus utilisés au Québec, résiste le plus à l'orniérage?
- Quel type de bitume résiste le moins?
- Parmi les caractéristiques des unités expérimentales, quelles sont les plus importantes par rapport à l'orniérage?
- Peut-on établir une relation entre l'orniérage et les caractéristiques des chaussées?

- Quelle devrait être la valeur de chacune des caractéristiques pour minimiser l'orniérage?
- Qu'est-ce qui influence le plus la présence d'orniérage sur une route: la structure interne, l'utilisation (volume de circulation) ou l'âge de la route?

Pour répondre adéquatement à ces questions, c'est-à-dire pour pouvoir faire une analyse complète de la situation avec les données, voici les étapes d'un plan de travail qui constitue une analyse intégrée d'un tel problème.

## 1<sup>re</sup> PARTIE - Analyse et résultats

### 1.1 Analyse de la variance

Faire les analyses prévues au début de l'étude (grâce à la théorie de l'analyse de la variance). Il s'agira de déterminer, avec les différents outils disponibles, les conditions idéales pour minimiser l'orniérage.

### 1.2 Corrélation

Déterminer les différents liens qui peuvent exister entre les variables explicatives et la variable "orniérage". Quantifier ce lien et cerner la prépondérance relative.

### 1.3 Résultats

Il sera possible de déterminer le meilleur mélange pour les différentes conditions de DJMA (débit journalier moyen annuel), si la longueur de la vie d'une route influence de façon significative la formation d'orniérage, le comportement des différents mélanges en regard des différentes caractéristiques se trouvant dans la route, etc.

Cette analyse, fondamentale pour l'étude, doit, pour bien cerner toute la problématique de l'orniérage, être modélisée et confrontée aux récents développements dans ce domaine, et la deuxième partie de l'analyse s'en occupe.

## 2<sup>e</sup> PARTIE - Modélisation et confrontation

### 2.1 Modélisation

Avec des résultats obtenus, modéliser le phénomène de façon à mieux en saisir toutes les implications et à en faciliter le traitement. Par exemple, en connaissant les caractéristiques d'une route, déterminer la composition idéale des composantes de la route dans le but de minimiser l'orniérage en surface.

### 2.2 Résumé et compte rendu

Analyser en profondeur les dernières études et les derniers articles portant sur le sujet. Faire l'historique de certaines études faites précédemment et analyser les méthodes utilisées et les résultats obtenus.

### 2.3 Comparaisons entre diverses méthodes

Établir des comparaisons entre les études précédentes et celle utilisée, et ce autant au niveau des résultats que de la méthodologie employée. Fournir les différences et similitudes entre les études (accorder une importance spéciale au climat).

### 2.4 Critique méthodologique

Avec les résultats obtenus à partir de notre étude et les informations apportées par les précédentes, proposer une méthodologie pour améliorer la prochaine étude sur l'orniérage.

Une fois que le tout sera terminé, il ne restera plus qu'à faire fructifier le travail accompli par une bonne diffusion.

## 3<sup>e</sup> PARTIE - Diffusion

### 3.1 Publication

Publier l'ensemble de l'étude (comme le ministère des Transports de l'Ontario l'a fait). Utiliser la partie de l'enquête la plus intéressante, en faire un article et le proposer à des revues (francophones ou anglophones) spécialisées en recherche et/ou en transport, de manière à informer les gens du milieu sur les activités de recherche en transport au Ministère.

### 3.2 Présentation

Plusieurs présentations de ce sujet peuvent être faites, lors de congrès ou de colloques, et ce dans différents domaines (recherche, transport, statistique, etc.).

## CONCLUSIONS

1. Seules deux variables sont significativement corrélées avec la cote pondérée moyenne d'orniérage, soient l'angularité à 2 mm et le résultat au test du HVEEM.
2. Il importe, d'autre part, de s'interroger sur la signification des relations en cause: la cote pondérée moyenne sur 100 mètres ne reflète pas la situation en un point précis, et la composition du sol n'est pas toujours homogène.
3. L'analyse demandée, ne tenant pas compte de tous les facteurs mais spécifiquement de ceux mentionnés au point 2, les résultats demeurent partiels et ne nous permettent pas de conclure de façon absolue sur le problème de l'orniérage.
4. Nous proposons donc un plan d'analyse complet permettant de répondre adéquatement aux interrogations qui régnaient lors de la planification de l'enquête.



## LISTE DES GRAPHIQUES

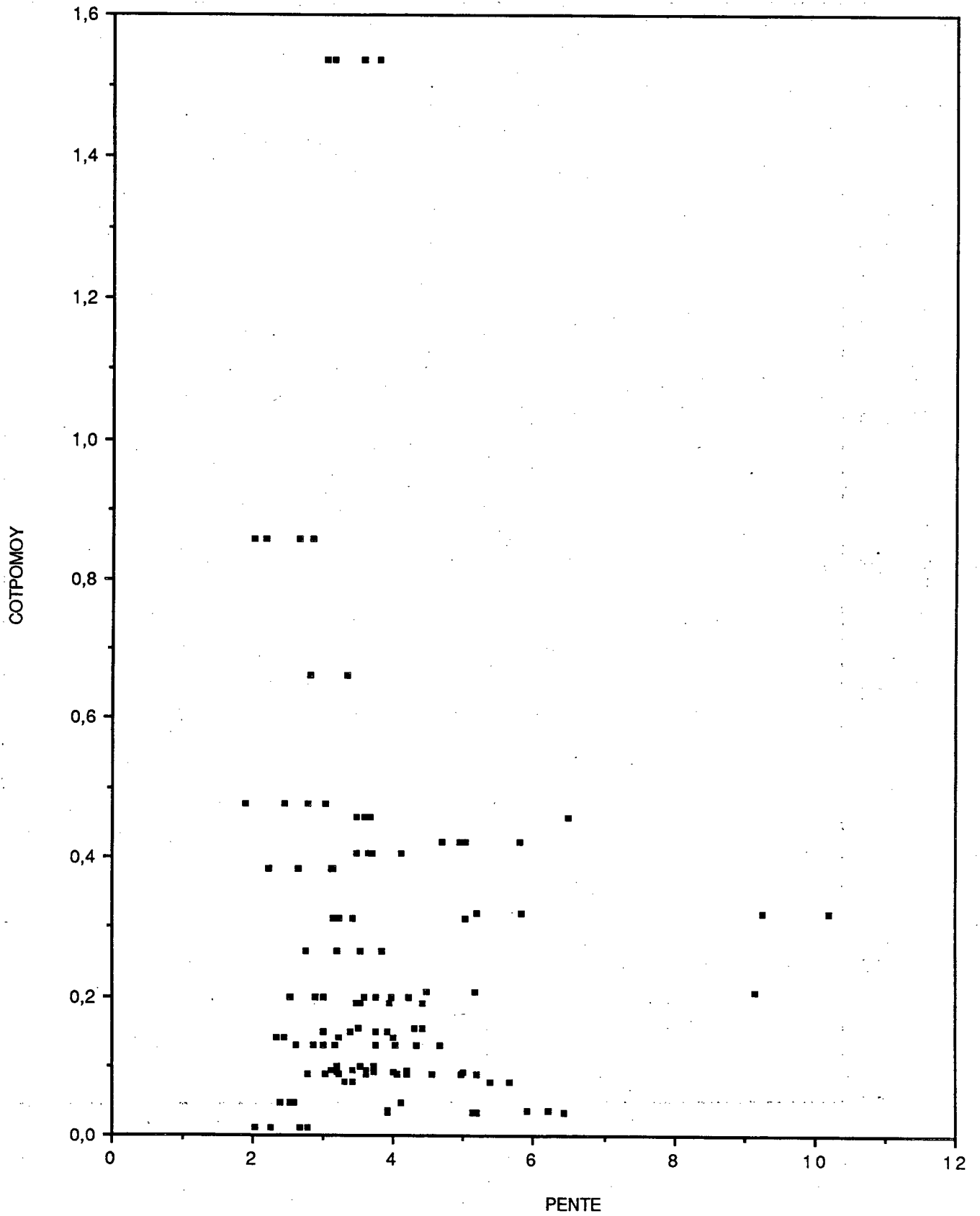
- Graphique 1: Cote pondérée moyenne - pente obtenue au Marshall
- Graphique 2: Cote pondérée moyenne - volume vide dans le mélange
- Graphique 3: Cote pondérée moyenne - pourcentage de gravier
- Graphique 4: Cote pondérée moyenne - total granulométrique
- Graphique 5: Cote pondérée moyenne - angularité à 5 mm
- Graphique 6: Cote pondérée moyenne - angularité à 2 mm
- Graphique 7: Cote pondérée moyenne - valeurs au test du HVEEM

### Note importante:

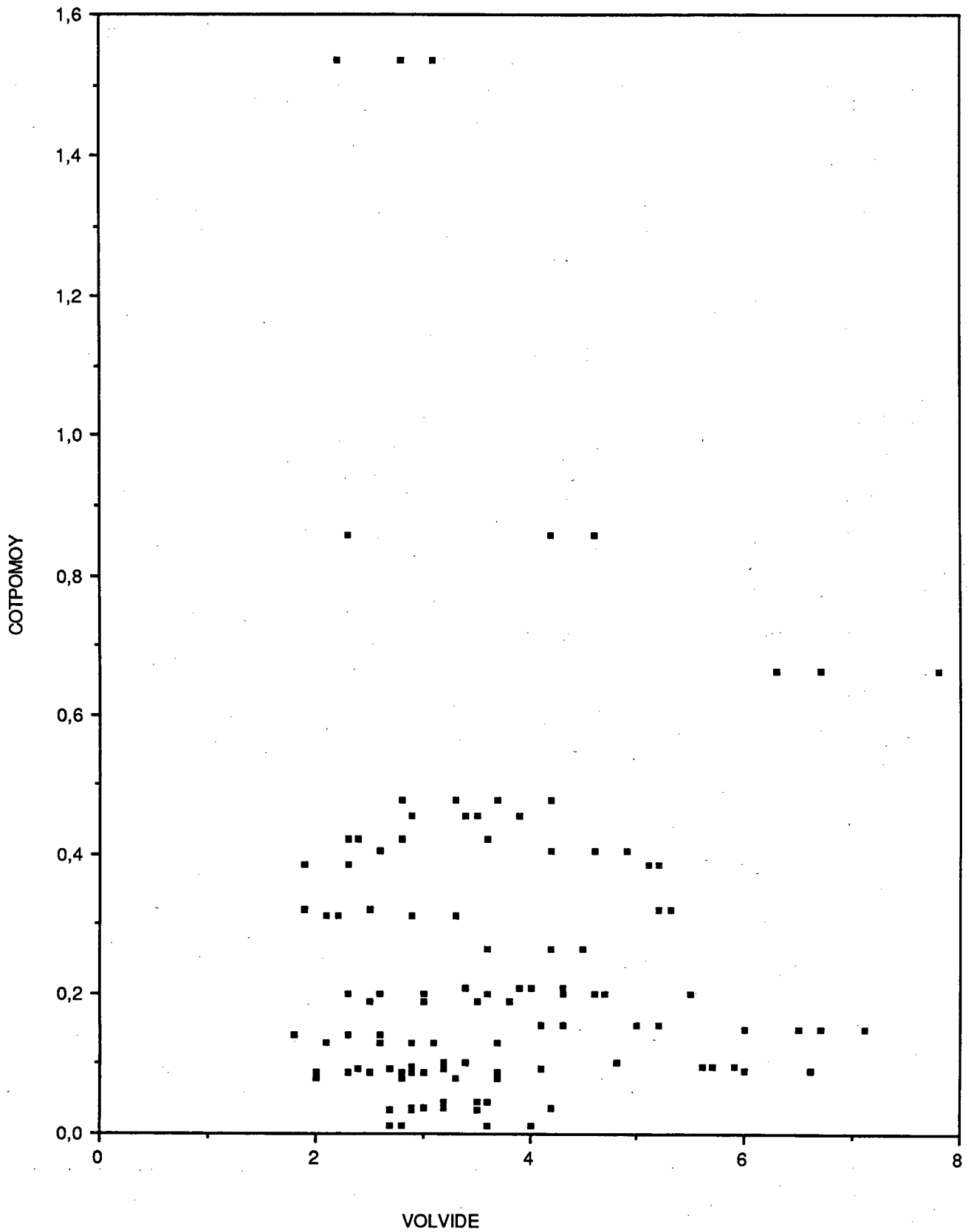
Dans tout ensemble de données, il est toujours possible de retrouver certaines valeurs aberrantes. Pour tous les graphiques suivants, il est facile d'identifier, dans la partie supérieure gauche, certains points qui semblent faire partie de ce groupe.

Il est donc suggéré, pour une meilleure analyse des graphiques, de ne pas considérer ces points.

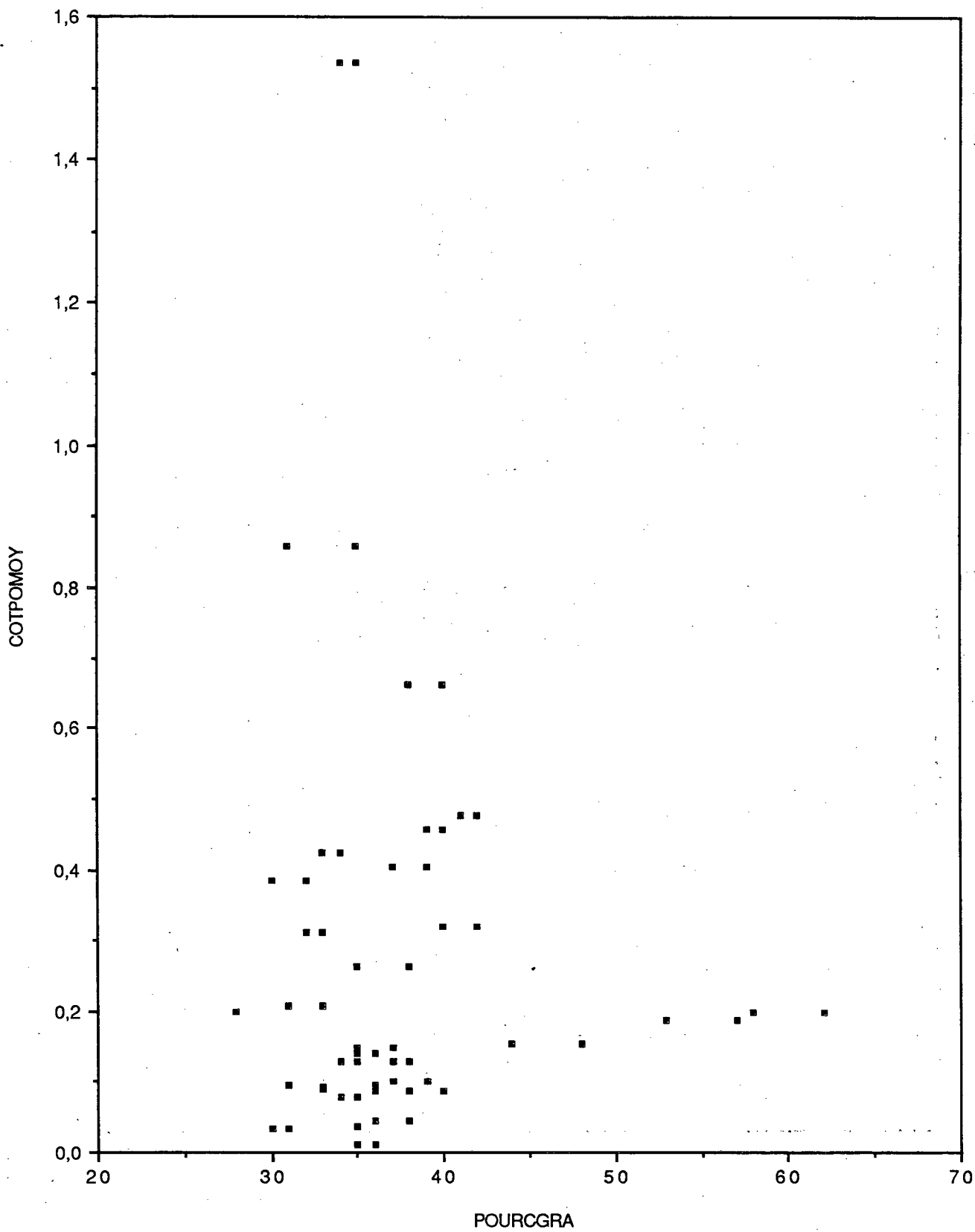
Graphique 1 - COTE PONDÉRÉE MOYENNE - PENTE OBTENUE AU MARSHALL



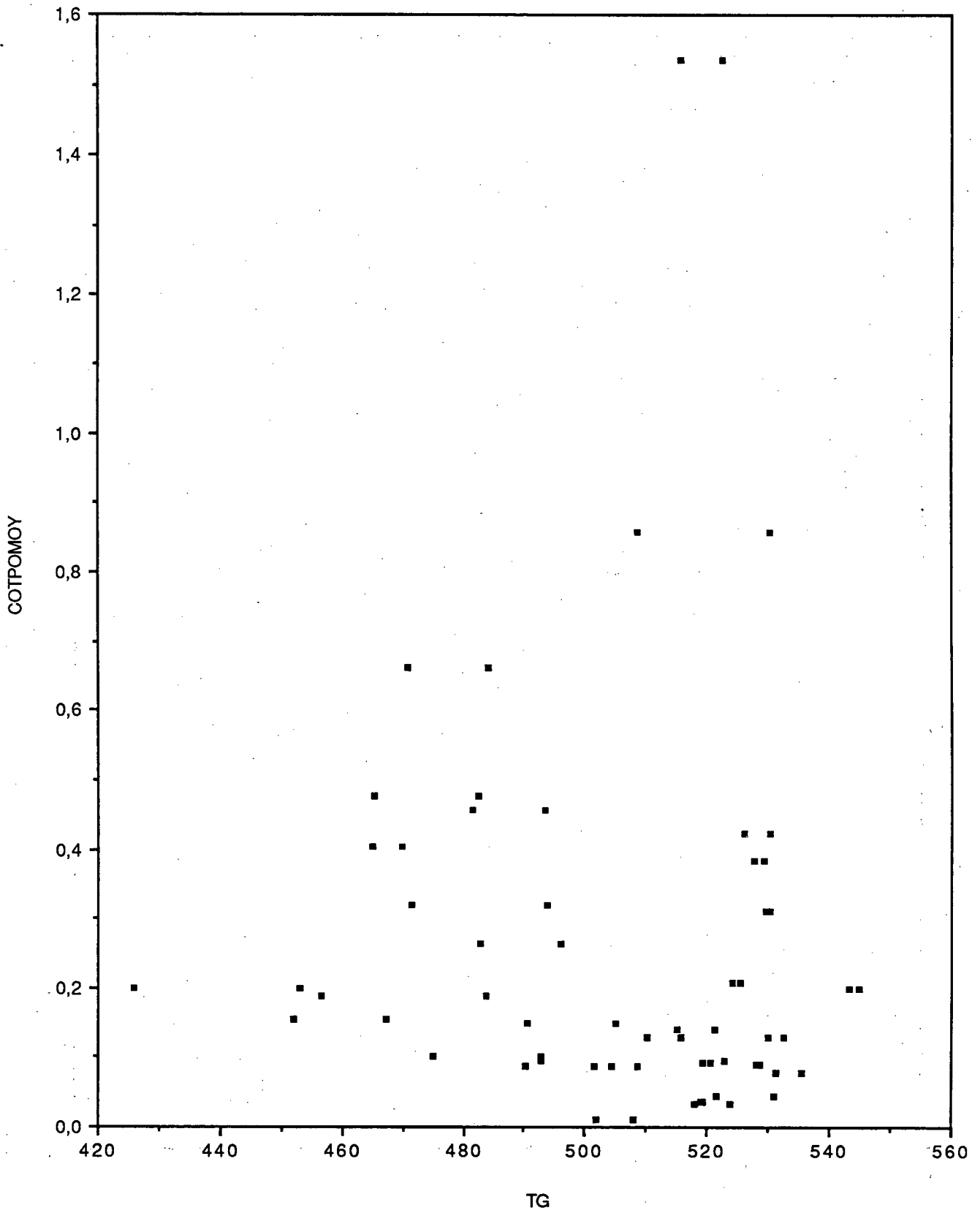
Graphique 2 - COTE PONDÉRÉE MOYENNE - VOLUME VIDE DANS LE MÉLANGE



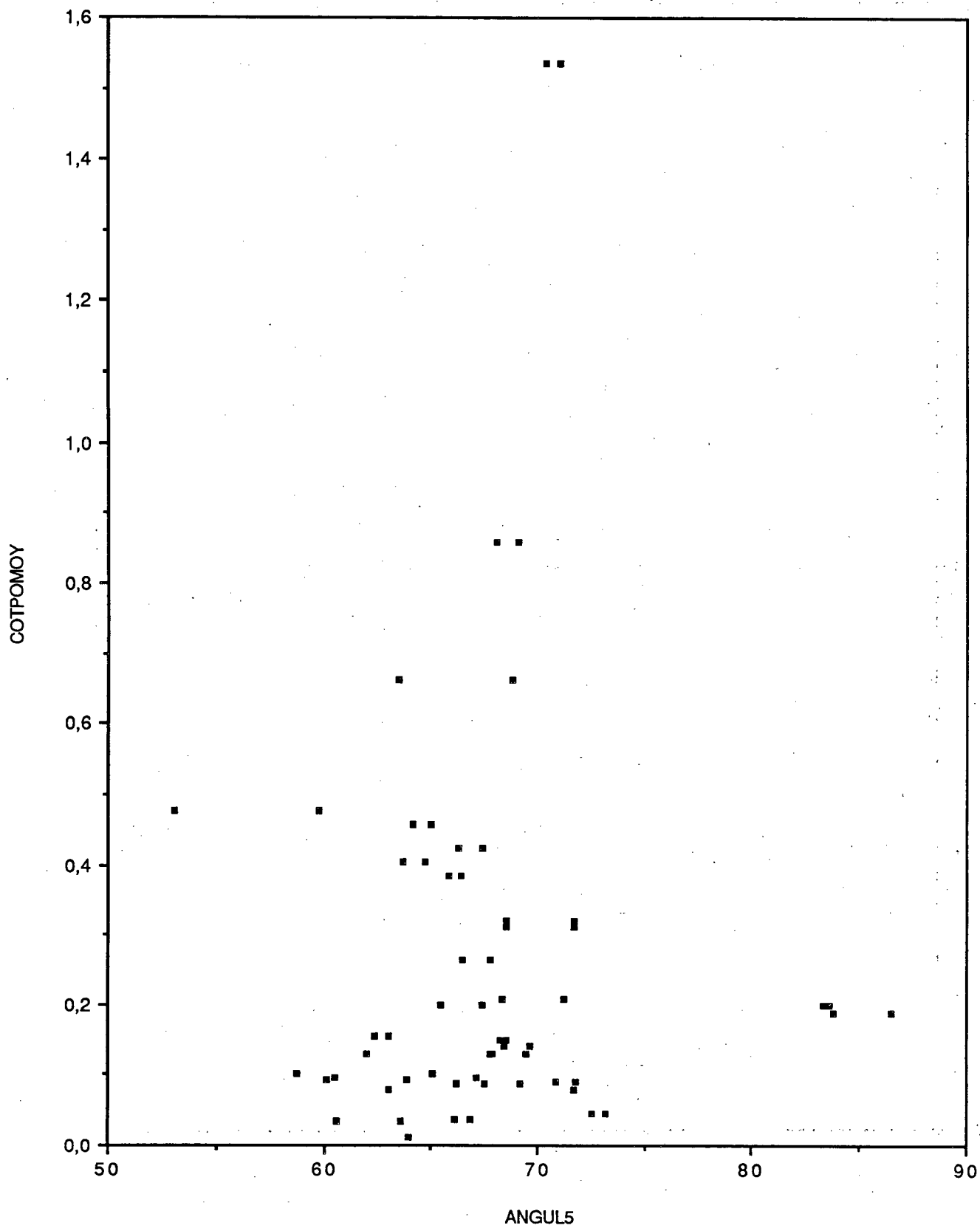
Graphique 3 - COTE PONDÉRÉE MOYENNE - POURCENTAGE DE GRAVIER



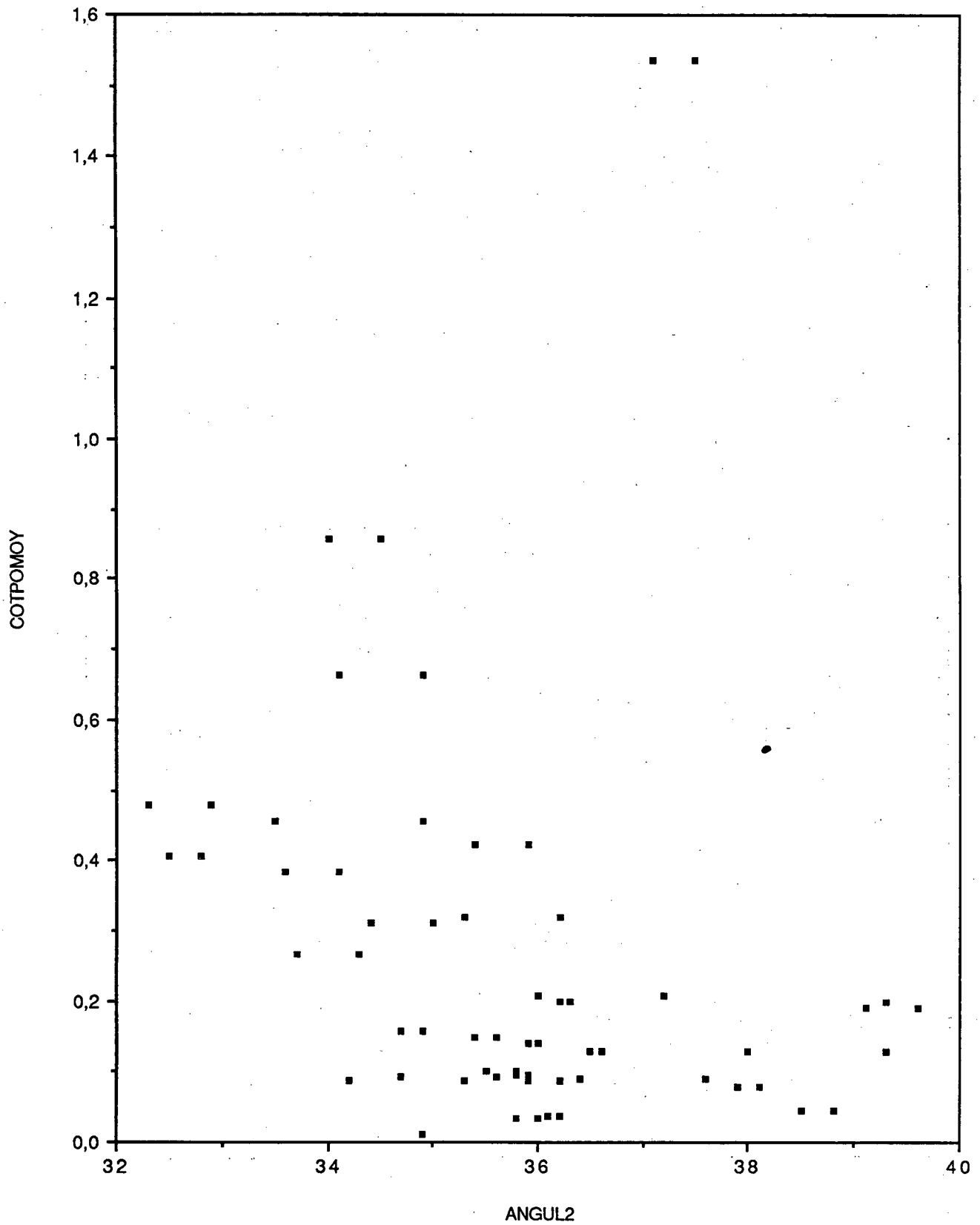
Graphique 4 - COTE PONDÉRÉE MOYENNE - TOTAL GRANULOMÉTRIQUE



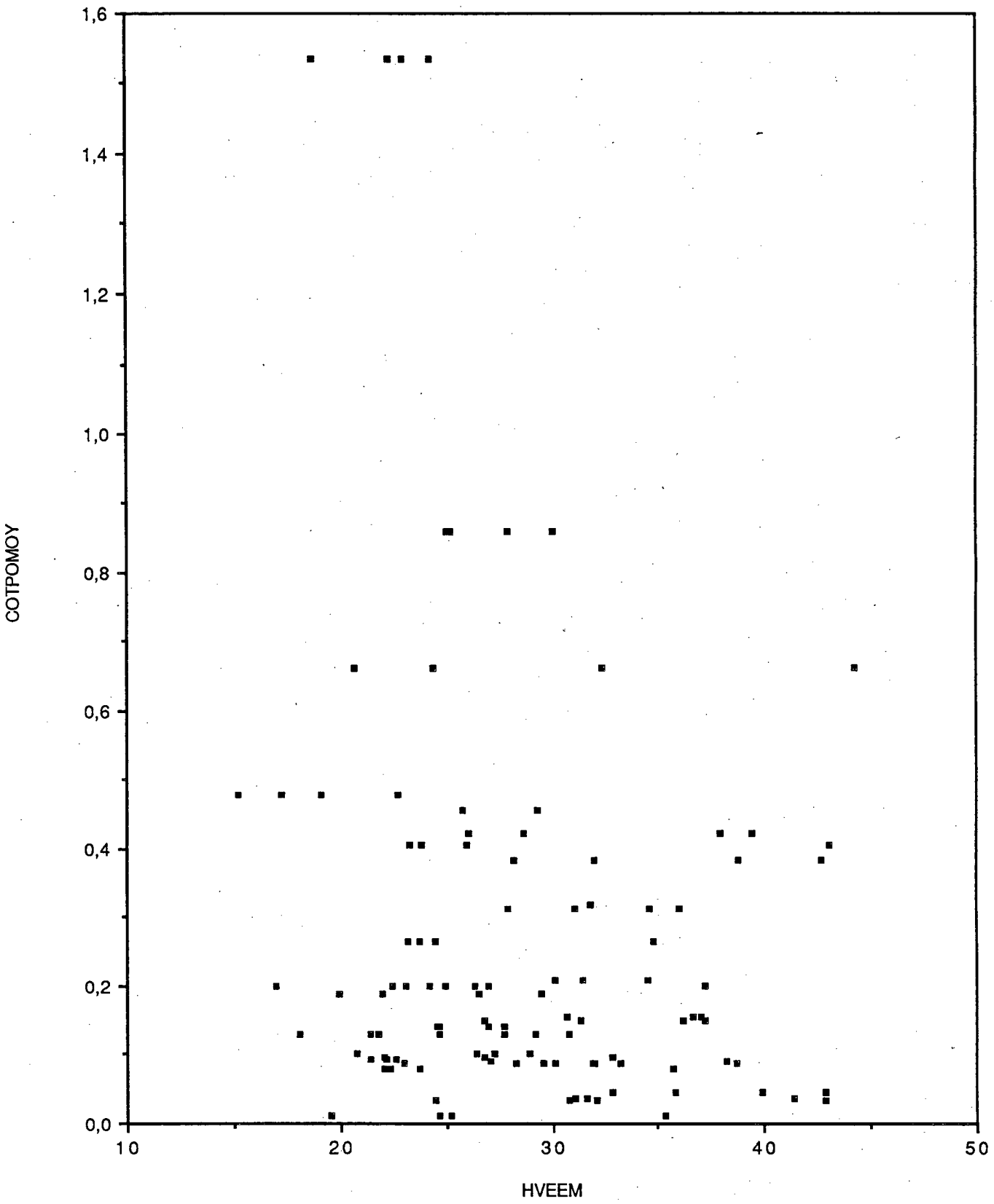
Graphique 5 - COTE PONDÉRÉE - ANGULARITÉ À 5 MM



Graphique 6 - COTE PONDÉRÉE MOYENNE - ANGULARITÉ À 2 MM



Graphique 7 - COTE PONDÉRÉE MOYENNE - VALEURS AU TEST DU HVEEM





MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 056 752