

Méthodes de mesure de la drainabilité des enrobés drainants

**Messungsmethoden der Durchlässigkeit von Drainasphalt
Measurement methods of porous asphalt drainage capacity**

**Laboratoire des voies de circulation (LAVOC) de
l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
A.-G. Dumont, professeur
M. Huet, adj. scientifique
J.-C. Turtzschy, adj. scientifique**

**Mandat de recherche 20/91 sur proposition de
l'Union des professionnels suisses de la route**

Novembre 1995

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	8
1.1 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.....	8
2. ORGANISATION DE L'ÉTUDE.....	9
2.1 BUT	9
2.2 DEROULEMENT DE L'ÉTUDE.....	9
3. PREMIÈRE ÉTAPE: INVENTAIRE ET SÉLECTION DES MÉTHODES ET MATÉRIEL DE MESURE	10
3.1 PRINCIPE DU PERMEAMETRE (A ECOULEMENT GRAVITAIRE)	10
3.2 INVENTAIRE	11
3.3 SÉLECTION DES PERMEAMETRES.....	12
3.4 PRÉSENTATION DES PERMEAMETRES SÉLECTIONNÉES.....	12
3.4.1 Perméamètre YVERDON.....	12
3.4.1.1 Description	12
3.4.1.2 Mise en place.....	13
3.4.1.3 Mesure.....	13
3.4.2 Perméamètre IVT.....	14
3.4.2.1 Description	14
3.4.2.2 Mise en place.....	15
3.4.2.3 Mesure.....	15
3.4.3 Perméamètre STRASSENTTEST.....	15
3.4.3.1 Description	15
3.4.3.2 Mise en place.....	16
3.4.3.3 Mesure.....	16
3.4.4 Perméamètre AUTUN manuel	17
3.4.4.1 Description	17
3.4.4.2 Mise en place.....	18
3.4.4.3 Mesure.....	18
3.4.5 Perméamètre AUTUN automatique	18
3.4.5.1 Description	18
3.4.5.2 Mise en place.....	19
3.4.5.3 Mesure.....	19
4. DEUXIÈME ÉTAPE: ESSAIS SUR CHANTIERS.....	20
4.1 INVENTAIRE ET SÉLECTION DES TRONÇONS DE ROUTES REVÊTUES D'UNE COUCHE DE ROULEMENT EN ENROBE DRAINANT	20
4.2 MESURES IN SITU.....	21
4.2.1 Plan d'intervention	21
4.2.1.1 Sur autoroutes.....	21
4.2.1.2 Sur routes cantonales	22
4.2.2 Période de la campagne de mesures, conditions	23
4.2.3 Prestations réalisées in situ	23
5. TROISIÈME ÉTAPE: ESSAIS EN LABORATOIRE	23
5.1 DESCRIPTION DES MÉTHODES DE MESURE.....	24
5.1.1 Évaluation de la teneur en vides résiduels par mesure géométrique.....	24
5.1.2 Détermination de la teneur en vides résiduels avec le film de paraffine	24
5.1.3 Détermination du pourcentage de vides communicants.....	24
6. QUATRIÈME ÉTAPE: DÉPOUILLEMENT ET ANALYSE DES RÉSULTATS.....	25
6.1 TRANSFORMATION DES RÉSULTATS DE MESURE D'ÉCOULEMENT EN VALEURS DE DÉBIT	25
6.2 COMPARAISON DES RÉSULTATS D'ÉCOULEMENT OBTENUS AVEC LES PERMEAMETRES SÉLECTIONNÉS.....	26
6.3 COMPARAISON ENTRE LES RÉSULTATS D'ÉCOULEMENT ET LES VIDES MESURES	33
6.3.1 Détermination des vides.....	33
6.3.2 Comparaison des résultats d'écoulement avec les teneurs en vides résiduels et en vides communicants	36
6.3.2.1 Analyse globale des résultats.....	36
6.3.2.2 Analyse des résultats par perméamètre.....	38
7. CONCLUSIONS.....	45
7.1 ÉTUDE.....	45
7.2 OBSERVATIONS	45
7.3 PROPOSITIONS	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	47

- De bonnes corrélations apparaissent entre les résultats des mesures d'écoulement et les vides communicants (volume de pores communicants entre eux en pour-cent du volume total).
- Il n'y a pas de corrélation satisfaisante entre les vides résiduels (volume de pores en pour-cent du volume total) et les vides communicants.

Ces informations nous permettent donc d'élaborer les considérations et propositions ci-après. Celles-ci pourront être utilisées pour l'élaboration d'une nouvelle norme sur les enrobés drainants :

- Dans une étude de formulation menée pour établir la recette d'un enrobé drainant, il convient de faire référence aux vides communicants (mesurés selon la méthode décrite dans la norme française NF P 98-254-2).
- Pour une étude de formulation, se baser sur le seul critère des vides du matériau est insuffisant. Il est nécessaire d'apprécier également l'aptitude au compactage au moyen de la presse à cisaillement giratoire (PCG) ou en réalisant des éprouvettes Marshall à plusieurs taux de compactage.
- La limite inférieure des vides communicants à prescrire ne devrait pas être inférieure à 18 %, celle des vides résiduels à 21 %.
- Si l'on veut assurer une meilleure corrélation entre les vides de l'enrobé drainant et les valeurs d'écoulement mesurées en place, la sélection d'un perméamètre dans le cadre de l'élaboration de la norme devra respecter les conditions suivantes :
 - L'instrument sera équipé à sa base d'un joint en caoutchouc
 - Une charge définie et constante sera appliquée sur le joint

ZUSAMMENFASSUNG

Im Juni 1990 hat die Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) unter der Referenznummer SN 640 433 eine Vornorm für Drinasphalte herausgegeben.

Obwohl die Vornorm zahlreiche Angaben und Vorschriften bezüglich Zusammensetzung, Herstellung und Einbau des Drinasphaltes beinhaltet, muss sie in verschiedener Hinsicht noch ergänzt werden. So sind zum Beispiel zur Überprüfung der Drainbarkeit des Drinasphaltes nach dessen Einbau weder die zu verwendenden Messinstrumente noch entsprechende Vorschriften beschrieben. Die Vornorm schlägt einfach vor *«ein geeignetes Messinstrument»* zu verwenden.

In der Schweiz werden mehrere Instrumente verwendet, um die Durchlässigkeit eines Drinasphaltes in situ zu überprüfen. Nach unserem Wissen zeigen aber die mit den verschiedenen Instrumenten erhaltenen Resultate keine Korrelation.

Zielsetzung dieser Untersuchung war, eine Auswahl an Methoden und bestehenden Hilfsmitteln zu treffen, welche in Laborversuchen die Eigenschaften der Drainbarkeit eines Asphaltes aufzeigen. Dieselben sollen nach Einbau des Belages kontrolliert werden können.

Die vom LAVOC durchgeführte Studie beinhaltet:

- Den Vergleich von Messresultaten verschiedener Durchlässigkeitsmesser. Nach Erstellen einer Inventarliste aller in der Schweiz und in der Europäischen Union benutzten Durchlässigkeitsmesser werden fünf Instrumente aufgrund ihrer Eigenschaften (Abflussmodus, Dichtungstyp, ...) ausgewählt. Auf fünf Strassenabschnitten mit Drinasphalt werden Messungen durchgeführt.
- Die Auswertung verschiedener Hohlraummessmethoden (geometrische Messung, Parafinfilm), die quantitative Hohlraumbestimmung (gesamtes Hohlraumvorkommen, kommunizierende Hohlräume) und das Aufzeigen von Zusammenhängen.
- Die Suche nach zufriedenstellenden Übereinstimmungen zwischen den Messmethoden, die mit den verschiedenen Durchlässigkeitsmessern in situ gewonnen werden konnten, und den verschiedenen an den Drinasphaltprobestücken untersuchten Hohlraumtypen untersucht wurden.

Unsere Forschungsarbeit ergibt:

- Die Resultate mit dem Schwereabfluss-Durchlässigkeitsmesser erläutern den von der Drainbarkeit des Belages abhängigen Abfluss nicht. Die mit dem erwähnten Instrument erhaltenen Resultate sind ebenfalls abhängig von:
 - der Makrostruktur des Bitumens
 - der Dichtungsfuge
 - der Kräfteeinwirkung auf die Dichtung
- Gute Korrelationen zeigen sich zwischen den Abflussmessungen und den kommunizierenden Hohlräumen (Volumen der kommunizierenden Poren bezüglich Gesamtvolumen, in %).

- Keine zufriedenstellende Korrelation besteht zwischen den Hohlräumen (Volumen der Poren bezüglich Gesamtvolumen, in %) und den kommunizierenden Hohlräumen.

Diese Erkenntnisse erlauben uns, die folgenden Vorschläge anzubringen, die für die Erarbeitung einer neuen Norm für Dränasphalte von Bedeutung sein könnten:

- In einer allfälligen Studie über die Zusammensetzung eines Dränasphaltes sei es angebracht, sich auf die kommunizierenden Hohlräume zu beziehen. Dieselben werden nach der in der französischen Norm NF P 98-254-2 beschriebenen Methode gemessen.
- Es ist für eine Studie über die Zusammensetzung unzulänglich, sich ausschliesslich auf das Kriterium der Porosität zu basieren.
- Der untere Grenzwert des kommunizierenden Hohlraumanteils sollte 18%, derjenige der gesamten Hohlräume 21% nicht unterschreiten.
- Um eine gute Korrelation zwischen den Hohlräumen des Dränasphaltes und den in situ gemessenen Abflusswerten sicherzustellen, sollte die Auswahl eines Durchlässigkeitsmessers im Zuge der Schaffung einer neuen Norm folgenden Bedingungen erfüllen:
 - Das Instrument soll an seinem Fuss mit einer Gummidichtung versehen sein.
 - Auf die Dichtung soll eine festgelegte und konstante Krafteinwirkung erfolgen.

SUMMARY

A prenormative work about porous asphalt bearing the reference SN 640 433, has been issued in June 1990 by the Road Swiss Professionals.

In spite of the many pieces of information and recommendations about mix-designing, mixing and implementation of porous bituminous concrete it provides, this prenormative work still requires some additional complements on several points. For instance, regarding the control of the drainage capacity of porous asphalt after the implementation, neither the measuring equipment to be used, nor the requirements to be observed are precisely specified. It only states that measurement will be performed with an «instrument provided to that end».

Several measuring instruments are used in Switzerland to control the permeability of porous asphalt. However, as far as we know, there is no correlation between the results achieved by these various instruments.

This work aimed to complete a selection of existing methods and equipment, which might enable to characterize, in the laboratory, the drainage capacity properties of a porous asphalt and to control these characteristics after the implementation.

The study carried out by the LAVOC concerned:

- The comparison of measurement results between permeameters. Further to the inventory of permeameters, which are used in Switzerland and in the European Union, five instruments have been selected according to their characteristics (flow mode, type of joint, ...). Measurements have been carried out on five road sections surfaced with porous asphalt and selected from the inventory of local and national roads, which are already or should be surfaced during the period scheduled for the in-situ tests.
- The evaluation of the various void measurement methods (geometric measurement, paraffin sheet), the quantization of voids (residual and communicating voids) and the working-out of relationships between them.
- The search for a satisfactory concordance between drainage capacity results, which have been obtained in-situ with the different permeameters, and the types of voids, which have been determined from the porous asphalt test tubes.

Such investigations have allowed to bring out the following observations:

- Results achieved with gravity flow permeameters cannot express the notion of flowrate exclusively related to the drainage capacity performances of the bituminous mix. Besides, results achieved with such instruments also depend on:
 - the macrotexture of the bituminous concrete,
 - the properties of the material used as joint,
 - the load applied on the joint.

- Some good correlations appear between flow measurement results and communicating voids (volume of pores communicating between themselves by % of the total volume).
- There is no satisfactory correlation between the residual voids (volume of pores by % of the total volume) and the communicating voids.

The following reflections and proposals ensue from these pieces of information. They might be used to work out a new standard on porous asphalt:

- When carrying out a mix-designing study to work out the formula of a porous asphalt, it is advisable to refer to communicating voids (measured in accordance with the method described in the French standard NF P 98-254-2).
- Basing a mix-designing study on the sole criterion of the material voids is inadequate. It is, indeed, necessary to evaluate the compactability as well with the gyratory shear press (GSP), or with Marshall test tubes having different rates of compaction.
- The lower limit of communicating and residual voids to recommend should not be below 18 % and 21 % respectively.
- In order to secure a better correlation between the voids of the porous asphalt and flow values measured in-situ when working out the standard, the permeameter will have to be selected with regards to the following conditions:
 - The base of the instrument will be equipped with a rubber joint
 - A defined and constant load will be applied on the joint

1. INTRODUCTION

L'Union des professionnels suisses de la route a édité en juin 1990 une prénorme traitant des enrobés et qui porte la référence SN 640 433.

Une des caractéristiques de ce type d'enrobé réside dans sa capacité à évacuer l'eau dans sa structure. On évalue cette capacité par une mesure de drainabilité.

Pour les enrobés drainants mis en oeuvre sur chaussée, la prénorme ne définit ni l'instrument à utiliser ni les limites ou la plage de valeurs à respecter. Il est simplement stipulé que cette mesure se fera avec un « instrument prévu à cet effet ».

La prénorme associe le pouvoir de drainabilité de l'enrobé drainant à sa teneur en vides résiduels, soit les vides du minéral non comblés par le liant. Or, il n'est pas démontré que ce paramètre est effectivement véritablement associé au pouvoir de drainabilité de l'enrobé drainant. Il faut en effet savoir que, pour cette famille de matériaux, les vides résiduels sont composés de vides communicants entre eux et de vides non communicants. A priori, seuls les vides communicants sont à même de conférer aux enrobés drainants leur pouvoir de drainabilité.

Pour mesurer la drainabilité in situ, plusieurs appareils sont utilisés en Suisse sans qu'apparemment une loi de corrélation entre les résultats soit disponible. Tous cependant sont des drainomètres à écoulement gravitaire.

D'autres équipements de mesure sont utilisés dans divers pays européens. L'emploi de certains drainomètres fait même l'objet d'une procédure normalisée. Ces appareils peuvent être répartis en deux familles: les perméamètres fonctionnant à écoulement gravitaire et les perméamètres fonctionnant à pression imposée. A l'époque où la présente recherche a été engagée, il n'existait à notre connaissance, aucun document faisant état de tests comparatifs entre les divers perméamètres.

1.1 Objectifs de la recherche

Face à ce constat, nous avons proposé un mandat de recherche portant sur:

- les appareils de mesure de la drainabilité in situ utilisés en Europe,
- les méthodes de mesure des vides existantes,

afin, d'une part, de dresser une liste des perméamètres permettant d'obtenir des valeurs de drainabilité qui soient fonction des vides du matériau et, d'autre part, de mettre en évidence des méthodes de mesure adéquates pour caractériser les vides des enrobés drainants.

4^{ème} étape: dépouillement et analyse des résultats

Dans cette étape, nous nous sommes attachés à déterminer les corrélations possibles entre:

- les résultats obtenus avec les différents drainomètres sélectionnés,
- les vides déterminés selon les méthodes retenues et les résultats des mesures d'écoulement réalisées sur chantier.

En conclusion, nous avons mis en évidence les éléments nécessaires à la réalisation d'une norme se rapportant aux enrobés drainants pour qu'ils soient à la disposition des commissions techniques chargées de la normalisation.

3. PREMIÈRE ÉTAPE: INVENTAIRE ET SÉLECTION DES MÉTHODES ET MATÉRIEL DE MESURE

3.1 Principe du perméamètre (à écoulement gravitaire)

Un perméamètre est généralement constitué:

- d'un socle circulaire qui comprend:
 - un joint sur le pourtour qui, lorsque l'appareil est mis en place, empêche en principe l'eau de s'écouler en surface de l'enrobé drainant,
 - une ouverture centrale par laquelle l'eau s'écoule,
- d'un manchon fixé au-dessus de l'ouverture centrale (perméamètre à écoulement gravitaire). Ce manchon est transparent et gradué pour permettre de mesurer le temps nécessaire à l'écoulement d'un volume d'eau donné.

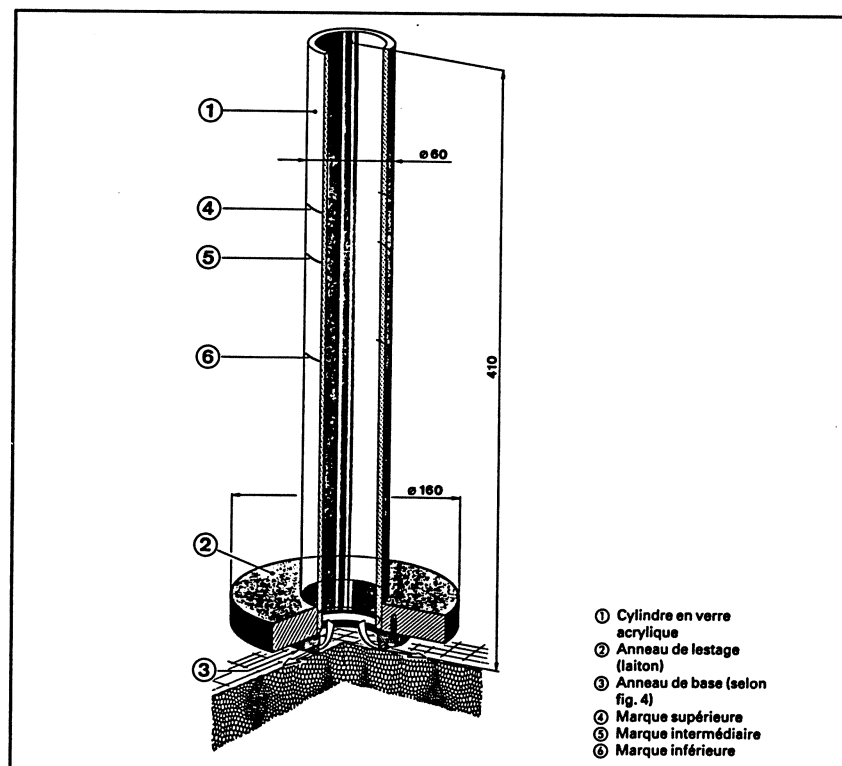


Figure 1: Le perméamètre selon la norme VSS

3.2 Inventaire

L'enquête sur les perméamètres a été menée en Suisse et dans les pays de la communauté européenne. La liste des appareils répertoriés est présentée dans le tableau suivant:

Nom du perméamètre	Pays	Fonctionnement (écoul.)	Niveau d'eau ⁽⁸⁾	Type de joint	Lest
Yverdon ⁽¹⁾	Suisse	gravitaire	constant	mastic	homme
IVT ⁽²⁾	Suisse	gravitaire	variable	mastic	aucun
Autun manuel ⁽³⁾	France	gravitaire	variable	néoprène	vérins
Autun automatique ⁽³⁾	France	pression imposée	constant	silastène	vérin
Strassentest ⁽⁴⁾	Allemagne	gravitaire	variable	mousse	masse métallique
LCS ⁽⁵⁾	Espagne	gravitaire	variable	caoutchouc cellulaire	masse métallique
TRL ⁽⁶⁾	Angleterre	gravitaire	variable	caoutchouc cellulaire	homme
⁽⁷⁾	Belgique	gravitaire	variable	caoutchouc cellulaire	masse métallique

Tableau 1: liste des perméamètres recensés

- (1) Ainsi désigné car il a été mis au point par le laboratoire des routes nationales du canton de Vaud situé à Yverdon.
- (2) Appareil mis au point par l'Institut des transports (IVT) de l'Ecole polytechnique fédérale de Zürich (ETHZ).
- (3) Perméamètre développé par le laboratoire régional des ponts et chaussées d'Autun.
- (4) Appareil commercialisé par la société allemande Strassentest.
- (5) Perméamètre conçu par le laboratoire «de Caminos y Aeropuertos de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos y Puertos de Santander ».
- (6) Appareil mis au point par le Transport Research Laboratory.
- (7) Drainomètre utilisé par l'administration des routes en Belgique.
- (8) Le niveau est variable s'il est fonction du débit d'écoulement, du volume et des dimensions du réservoir. Il est constant si un dispositif alimente l'appareil constamment en eau.

3.3 Sélection des perméamètres

Dans la liste des appareils recensés, beaucoup ont un mode de fonctionnement similaire. Parmi ceux-ci, certains ne présentent que de faibles différences dans leurs dimensions. C'est pourquoi nous avons pris comme critères de sélection le mode de fonctionnement (mode d'écoulement, niveau d'eau, type de lest) et leur conception (type de joint).

Au total, ce sont cinq appareils qui ont été retenus pour la réalisation des tests sur les planches d'enrobé drainant sélectionnées (voir le tableau suivant):

Nom du perméamètre	Fonctionnement (écoul.)	Niveau d'eau	Type de joint	Lest
Yverdon	gravitaire	constant	mastic	homme
IVT	gravitaire	variable	mastic	aucun
Autun manuel	gravitaire	variable	néoprène	vérins
Autun automatique	pression imposée	constant	silastène	vérin
Strassentest	gravitaire	variable	mousse	masse métallique

Tableau 2: Liste des perméamètres sélectionnés

Nota: A l'origine, il était prévu d'utiliser également le perméamètre LCS espagnol. Malheureusement, des problèmes de livraison nous ont empêchés de l'obtenir en temps voulu.

3.4 Présentation des perméamètres sélectionnés

3.4.1 Perméamètre YVERDON

Ce perméamètre a été mis au point par le laboratoire du bureau des autoroutes du canton de Vaud installé à Yverdon.

3.4.1.1 Description

Le perméamètre est constitué d'un tube de plexiglas fixé sur un socle circulaire en acier et muni de deux poignées. Le tube est muni de 3 graduations. Le joint est constitué d'un cordon de mastic que l'on façonne à la main et accolé au tube avant chaque essai. L'aspect de l'objet et ses dimensions sont présentés dans la figure ci-après.

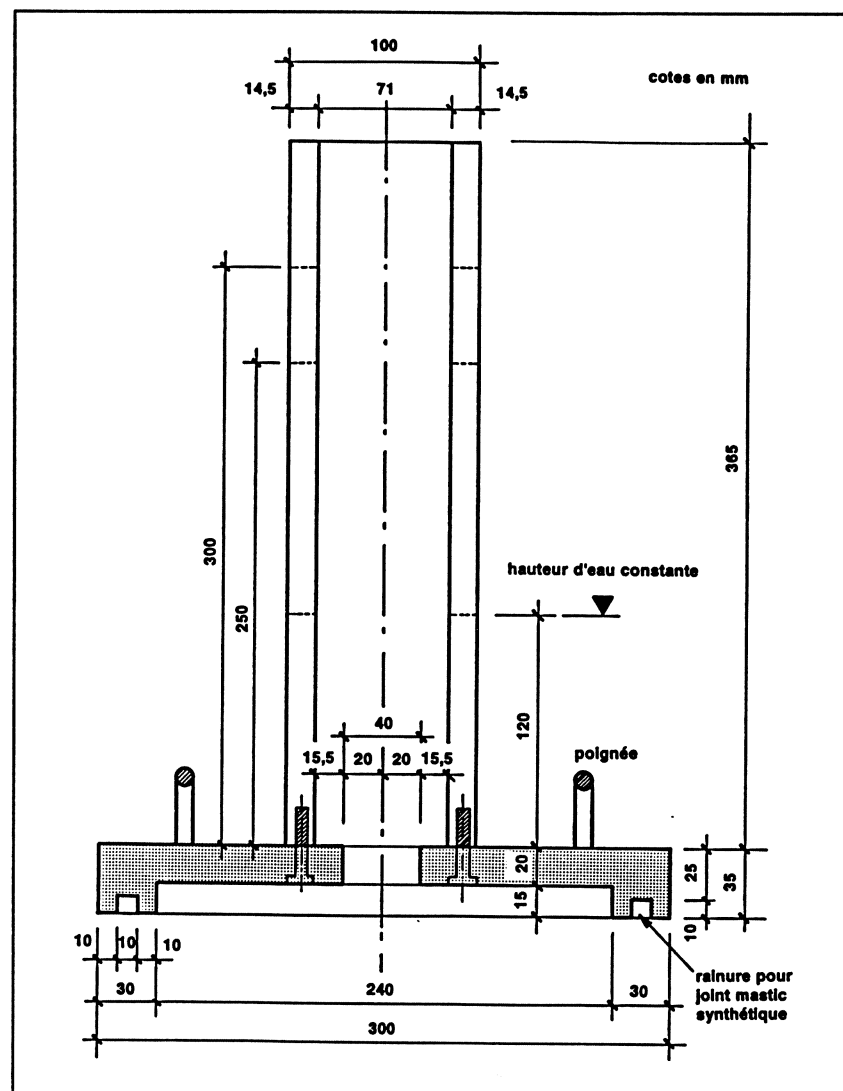


Figure 2: Schéma du perméamètre YVERDON

3.4.1.2 Mise en place

Il convient tout d'abord de façonner un cordon de mastic que l'on trempera dans du filler pour éviter qu'il ne colle au revêtement de la chaussée. Le joint est inséré dans la rainure du socle circulaire du perméamètre prévue à cet effet. L'instrument est ensuite posé sur la chaussée. Le lest est assuré par l'opérateur qui pose ses pieds sur le socle de l'appareil.

3.4.1.3 Mesure

La mesure s'effectue à niveau d'eau constant. Il convient pour cela de remplir le tube de l'instrument avec de l'eau et de stabiliser le niveau sur la graduation inférieure du tube en faisant varier le débit au moyen du robinet d'amenée d'eau au bas du réservoir. Lorsque le niveau est stabilisé, on dérive l'eau au moyen d'un branchement spécialement prévu à cet effet sur un récipient gradué sans modifier le débit. On mesure ensuite le temps nécessaire pour remplir le récipient de cinq litres d'eau.

La mesure est le temps d'écoulement nécessaire pour remplir un récipient de cinq litres d'eau avec un débit équivalent à celui permettant de maintenir un niveau stable dans le perméamètre. Elle s'exprime en secondes.

3.4.2 Perméamètre IVT

Ainsi nommé parce qu'il a été développé par l'institut pour la planification du trafic, la technique des transport et la construction des routes et chemins de fer (IVT) de l'Ecole polytechnique fédérale de Zürich (ETHZ).

3.4.2.1 Description

Le perméamètre est constitué simplement d'un tube en plexiglas et il est gradué tous les 2 centimètres. Le joint est constitué d'un cordon de mastic de la marque TEROSON, le TEROSTAT XI que l'on façonne à la main. L'aspect de l'objet et ses dimensions sont présentés dans la figure ci-dessous:

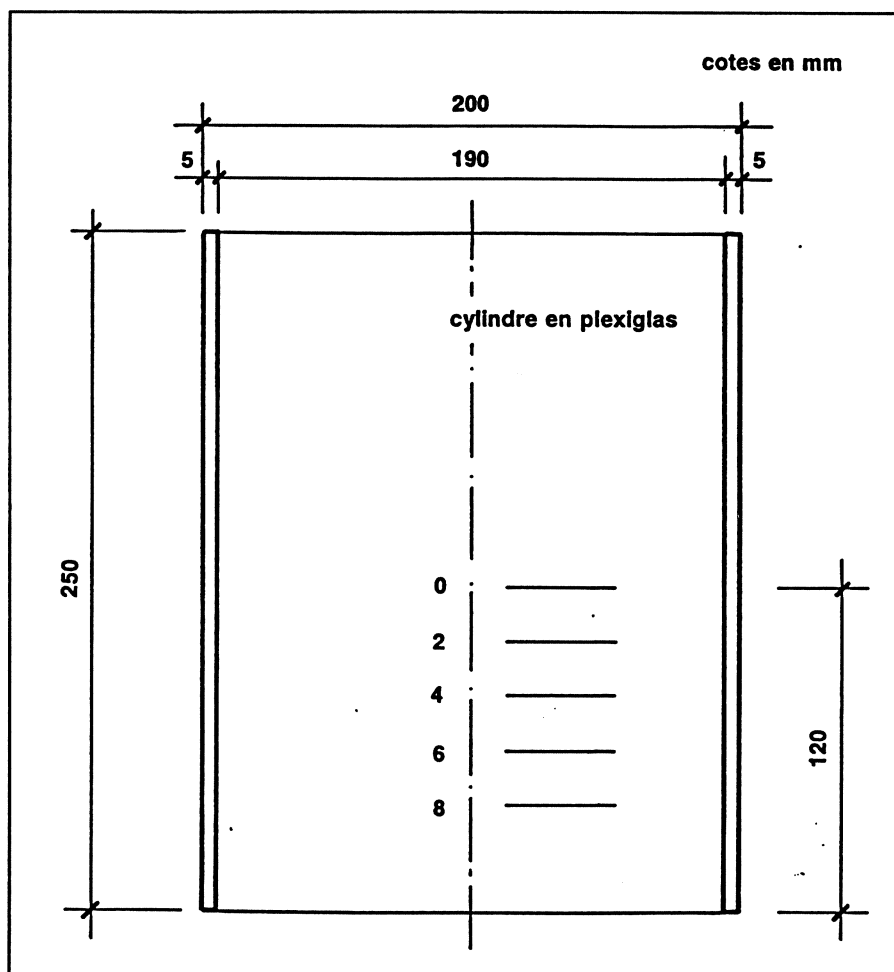


Figure 3: Schéma du perméamètre IVT

3.4.2.2 Mise en place

Le cylindre de plexiglas est placé sur la chaussée. Un cordon de mastic est ensuite façonné et mis en place à la base du cylindre, sur son pourtour. Le mastic est plaqué contre le tube et la chaussée avec le pouce. Aucune charge n'est appliquée sur le perméamètre pendant la réalisation de l'essai.

3.4.2.3 Mesure

La mesure s'effectue avec un niveau d'eau variable. On remplit tout d'abord rapidement le perméamètre avec environ quatre litres d'eau, de façon que le niveau soit approximativement cinq centimètres au-dessus de la graduation supérieure, marquée «0». Lorsque le niveau de l'eau atteint cette graduation, il convient d'enclencher le chronomètre. Il est déclenché lorsque le niveau d'eau atteint la graduation inférieure, marquée «8».

La mesure est le temps d'écoulement nécessaire pour que l'eau contenue dans le perméamètre s'écoule entre deux graduations définies. Elle s'exprime en secondes.

3.4.3 Perméamètre STRASSENTTEST

Ainsi désigné parce que commercialisé par la firme du même nom.

3.4.3.1 Description

Le perméamètre est constitué d'un tube en plastique fixé sur un socle circulaire en acier. Le joint est en mousse. L'orifice d'écoulement à la base de l'appareil peut être obstrué par un bouchon muni d'une tige. L'aspect de l'objet et ses dimensions sont présentés dans la figure ci-dessous:

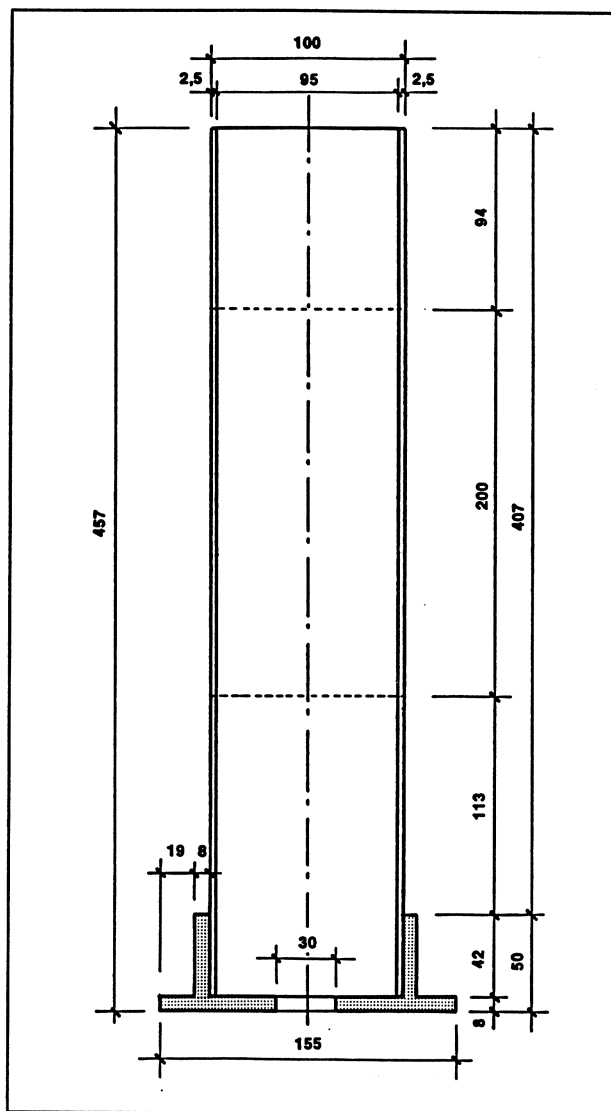


Figure 4: Schéma du perméamètre STRASSENTTEST

3.4.3.2 Mise en place

Le perméamètre est posé sur la chaussée. Il est ensuite chargé avec une masse métallique placée sur le socle. La pression exercée au niveau du joint est donc identique pour chaque essai effectué.

3.4.3.3 Mesure

Après avoir mis en place le bouchon, il convient de remplir le tube du perméamètre avec de l'eau jusqu'à ce que le niveau soit quelques centimètres au-dessus de la graduation supérieure. Le bouchon est ensuite retiré. Le chronomètre est enclenché lorsque le niveau d'eau atteint la graduation supérieure, il est déclenché lorsqu'il atteint la graduation inférieure.

La mesure est le temps d'écoulement de l'eau dans le perméamètre entre deux graduations. Elle s'exprime en secondes.

3.4.4 Perméamètre AUTUN manuel

Ainsi désigné parce qu'il a été développé par le laboratoire régional d'Autun et qu'il existe un modèle automatique décrit plus loin.

3.4.4.1 Description

Le perméamètre AUTUN manuel est un appareil dont l'utilisation en France fait l'objet d'une norme (NF P 98-254-3). L'appareil est constitué d'un tube de plexiglas fixé sur un socle circulaire en métal. Le joint est en mousse néoprène. Comme pour le perméamètre STRASSENTEST, l'orifice peut être provisoirement obstrué à l'aide d'un bouchon muni d'une tige. La version que nous avons utilisée est celle modifiée pour pouvoir réaliser de grandes campagnes de mesures. Par rapport à l'instrument auquel la norme française fait référence, les modifications essentielles apportées consistent en un montage du perméamètre sur remorque tractée et une mise en place sur chaussée au moyen de deux vérins qui servent également à lester l'appareil. L'aspect de l'objet et ses dimensions sont présentés dans la figure ci-après.

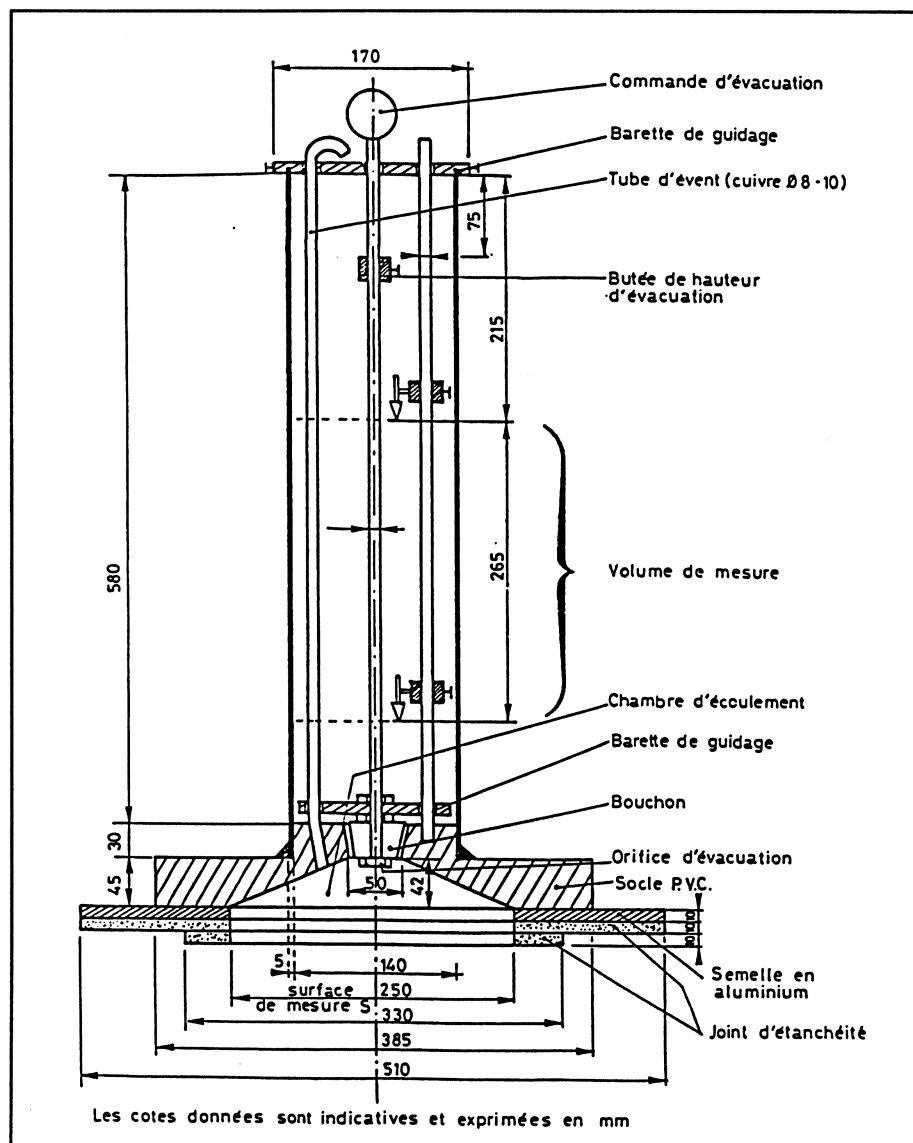


Figure 5: Schéma du perméamètre AUTUN manuel

3.4.4.2 Mise en place

Le perméamètre est mis en place et appliqué sur la chaussée par deux vérins hydrauliques alimentés en parallèle, ce qui permet d'exercer une force égale quel que soit le profil de la chaussée. La double articulation en haut et en bas des vérins assure la répartition de la charge. La pression de service est contrôlée par un manomètre monté sur la pompe. La force appliquée est comprise entre 3 et 4 kN.

3.4.4.3 Mesure

Après avoir mis en place le bouchon pour obstruer l'orifice, le réservoir du perméamètre est rempli avec huit litres d'eau. Le bouchon est ensuite libéré et le chronomètre enclenché. Lorsque trois litres d'eau se sont écoulés, le chronomètre est déclenché.

La mesure est le temps d'écoulement nécessaire pour qu'un volume d'eau de trois litres s'écoule de l'appareil. Le résultat, exprimé en vitesse de percolation (cm/s) est obtenu par calcul.

3.4.5 Perméamètre AUTUN automatique

Cet appareil a également été mis au point par le laboratoire régional d'Autun.

3.4.5.1 Description

Le perméamètre AUTUN automatique est monté sur une remorque tractée. L'appareillage est constitué:

- d'un patin monté sur vérin par lequel arrive l'eau. Sur le patin, sont fixés des joints toriques et silastène permettant d'étancher la partie centrale vis-à-vis de l'extérieur, ce qui évite que l'eau ne s'écoule latéralement en surface,
- de deux circuits d'alimentation en eau permettant de mesurer des petits ou des grands débits,
- d'un réservoir pressurisable avec compresseur de 7 bars qui alimente en eau le patin d'injection,
- d'un boîtier électronique et d'un groupe électrogène.

L'aspect de l'objet et ses dimensions sont présentés dans la figure ci-dessous:

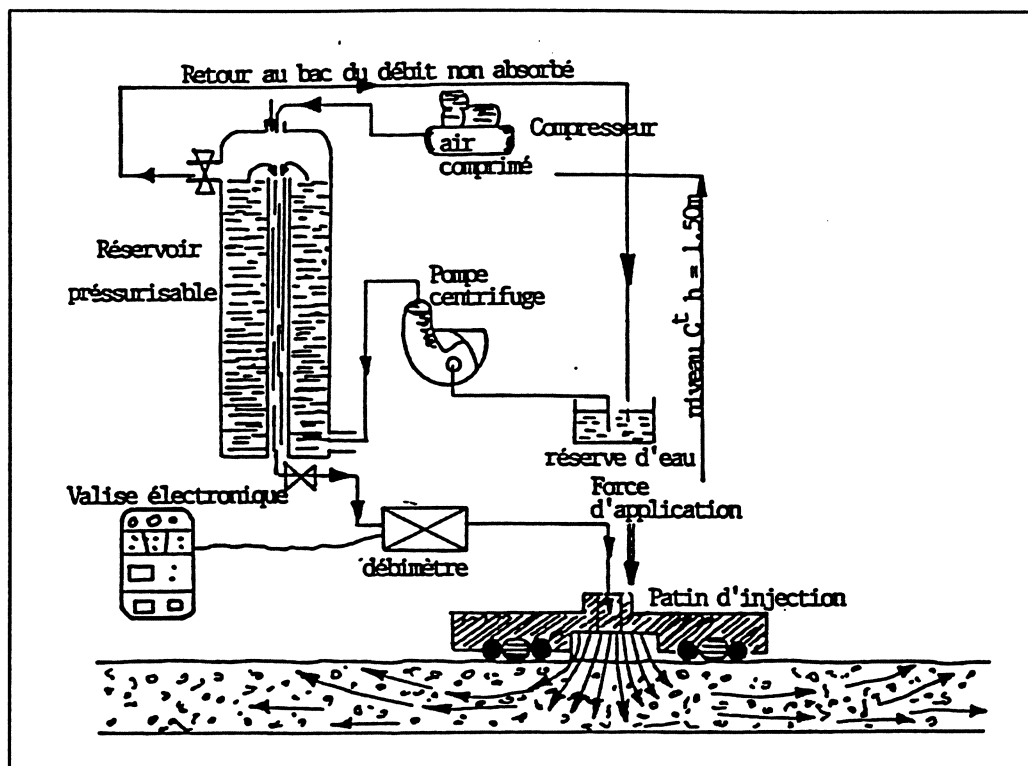


Figure 6: Schéma du perméamètre AUTUN automatique

3.4.5.2 Mise en place

Le patin est mis en place sur le revêtement de la chaussée au moyen du vérin. La force appliquée est constante pour chaque mesure et égale à 1000 kg.

3.4.5.3 Mesure

Elle s'effectue à partir de la cuve à niveau constant dont la hauteur de charge est de 1,50 m. Après la mise en route de l'appareil, il convient d'attendre que le régime d'écoulement se stabilise. Dès qu'il est constant, le débit est comptabilisé sur une période variant entre 15 et 30 secondes (selon la perméabilité du revêtement que l'on teste) par un débitmètre situé en amont du patin.

La mesure est le débit écoulé pendant la période de mesure. Elle s'exprime en débit par unité de surface, soit en $\text{l/m}^2/\text{s}$. Elle est obtenue en rapportant le débit mesuré à la surface d'alimentation en eau qui est la surface sise à l'intérieur du joint.

4. DEUXIÈME ÉTAPE: ESSAIS SUR CHANTIERS

4.1 Inventaire et sélection des tronçons de routes revêtues d'une couche de roulement en enrobé drainant

Le programme de recherche comportait des essais in situ et des prélèvements d'éprouvettes pour permettre de réaliser en laboratoire diverses investigations. A la fin de l'année 1991, nous avons contacté les ingénieurs de divers cantons ayant déjà réalisé de tels revêtements et susceptibles d'en poser de nouveau en 1992, soit les cantons de Berne, Valais, Vaud et Zürich.

Comme le nombre de chantiers en enrobé drainant réalisés en 1992 se révélait trop faible, nous avons également retenu pour nos essais plusieurs chantiers déjà sous trafic depuis quelques années.

Ce sont donc cinq tronçons revêtus d'enrobé drainant que nous avons sélectionnés pour servir de planches aux investigations prévues dans le cadre de cette recherche. La figure et la tableau ci-dessous permettent de les localiser.

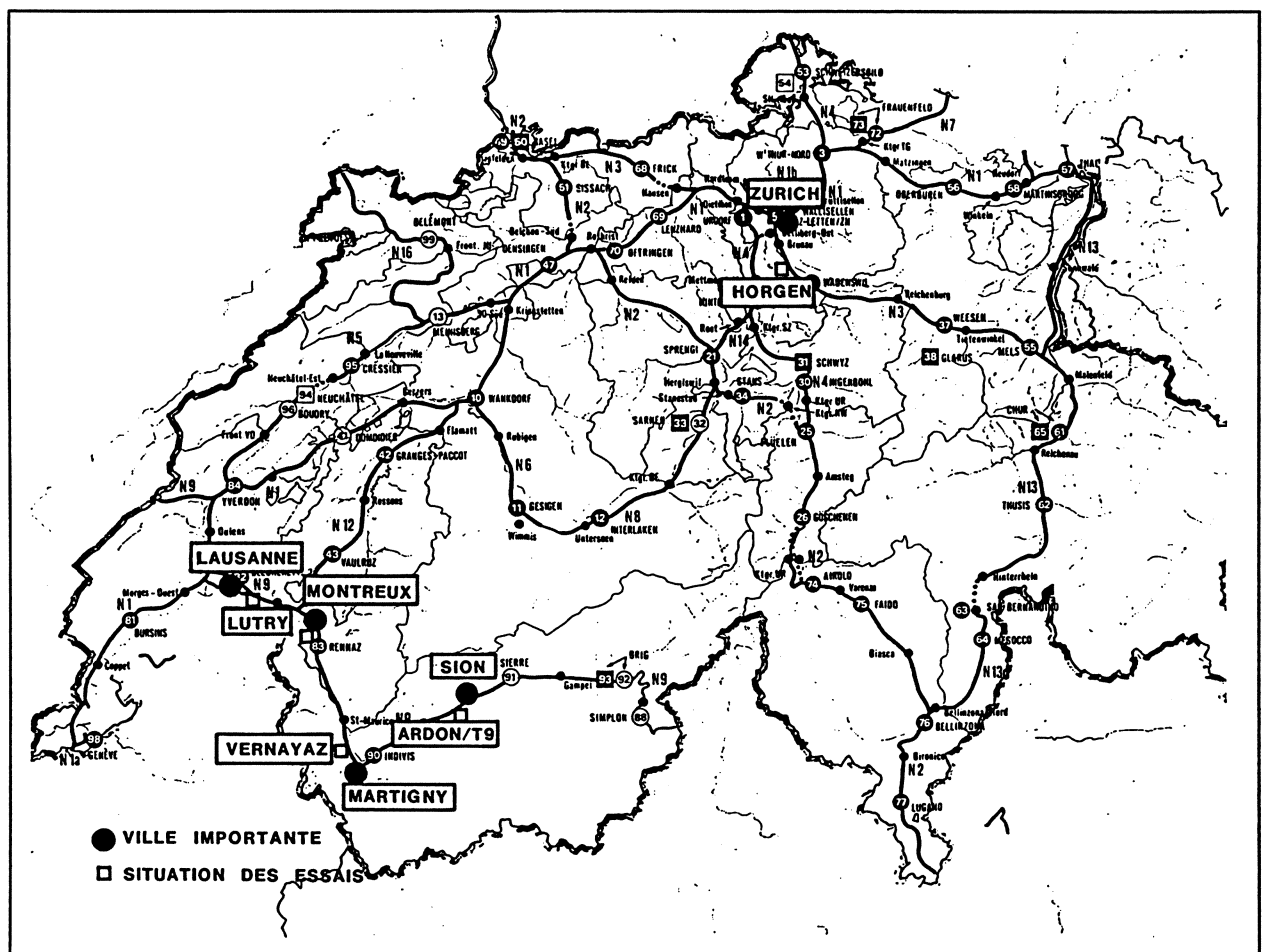


Figure 7: Localisation des planches d'essai

Planche n°	Canton	Identification de la route	Lieu	Zone des investigations
1	Vaud	RC 780	Lutry	Chaussée lac, entre Villette et Cully
2	Vaud	N 9	Montreux	Voie lente et bande d'arrêt d'urgence côté lac, à hauteur de la place de repos «le Petit»
3	Valais	N 9	Vernayaz	Voie lente et bande d'arrêt d'urgence direction Martigny
4	Valais	T 9	Ardon	Du km 34.210 au km 35.200 direction Sion
5	Zürich	N 3	Horgen	Voie lente et bande d'arrêt d'urgence direction Zürich

Tableau 3: Liste des tronçons en enrobé drainant sélectionnés

4.2 Mesures in situ

4.2.1 Plan d'intervention

La répartition des points de mesure sur les planches d'essai a été réalisée de façon géométrique de manière que les résultats soient représentatifs de l'état du revêtement.

4.2.1.1 Sur autoroutes

- 1 profil tous les 100 m, 5 profils au minimum,
- 3 mesures par profil, soit 15 mesures minimum sur voie lente et 2 mesures par profil, soit 10 mesures minimum sur bande d'arrêt d'urgence.

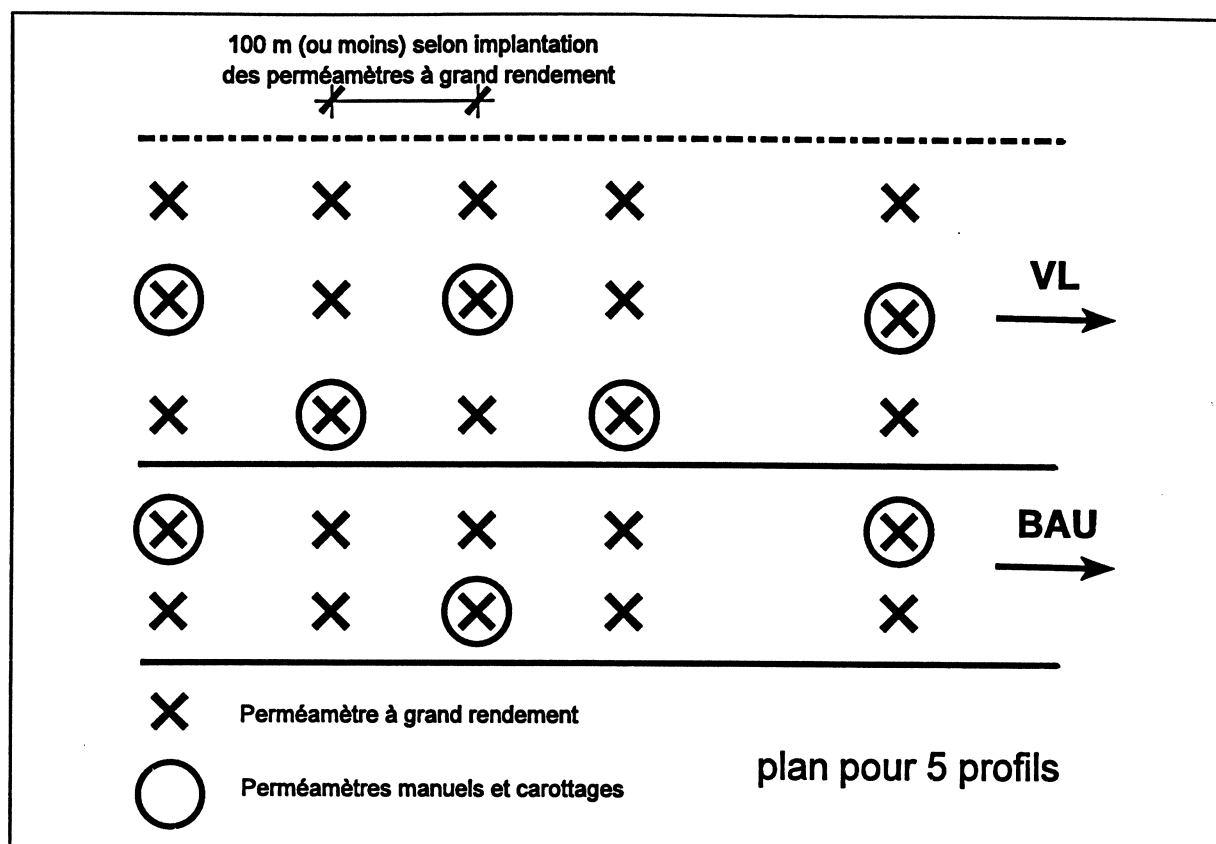


Figure 8: Schéma de répartition des points de mesure sur autoroutes

4.2.1.2 Sur routes cantonales

- 1 profil tous les 100 m, 5 profils au minimum
- 3 mesures par profil, soit 15 mesures minimum, sur une seule voie

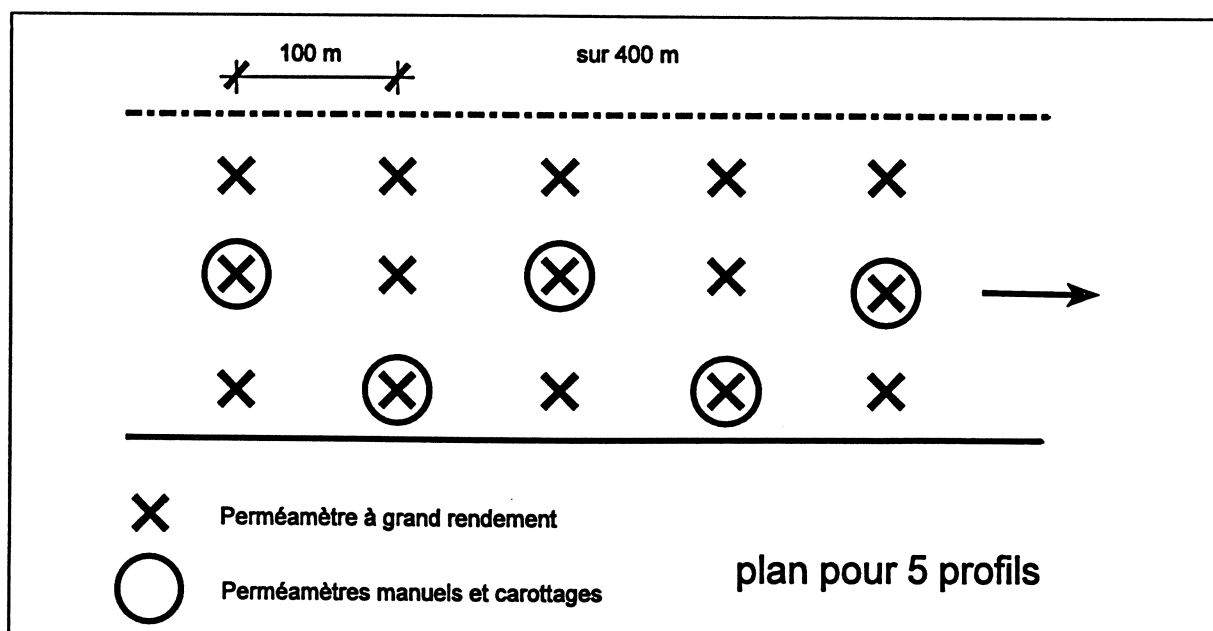


Figure 9: Schéma de répartition des points de mesure sur routes cantonales

4.2.2 Période de la campagne de mesures, conditions

Les mesures et prélèvement in situ ont été réalisés sur l'ensemble des planches d'essai sélectionnées entre le 3 et le 5 novembre 1992. Les conditions météorologiques ayant prévalu pendant la campagne de mesures sont décrites dans le tableau ci-dessous:

Planche n°	Conditions				
	1	2	3	4	5
Lieu	Lutry	Montreux	Ardon	Vernayaz	Horgen
Date des mesures	03.11.92	03.11.92	04.11.92	04.11.92	05.11.92
Temps	couvert, pluvieux	couvert, pluvieux	couvert	couvert	ensoleillé
Conditions du support	mouillé	mouillé	sec	sec	partiellement sec
Température de l'air	9 °C	10 °C	9 °C	12 °C	15 °C
Température du support	11 °C	9 °C	11 °C	13 °C	14 °C
Température de l'eau	12 °C	13 °C	12 °C	13 °C	14 °C

Tableau 4: Conditions climatiques lors de la réalisation des essais in situ

4.2.3 Prestations réalisées in situ

Sur chacune des planches choisies, en fonction des schémas d'intervention décrits ci-dessus, nous avons réalisé les prestations suivantes:

- mesure de la perméabilité avec les appareils sélectionnés,
- prélèvement d'échantillons de superstructure hydrocarbonée par carottage au droit de points de mesures sélectionnés, en tenant compte des résultats des tests de perméabilité obtenus.

5. TROISIÈME ÉTAPE: ESSAIS EN LABORATOIRE

Les prestations que nous avons réalisées en laboratoire sont les suivantes:

- nettoyage, description des échantillons carottés
- séparation de la couche de roulement des éprouvettes carottées par sciage
- détermination de la masse volumique apparente des échantillons d'enrobé drainant:
 - par mesure géométrique
 - selon la méthode décrite dans la norme SN 671 967a pour les échantillons à structure ouverte (avec film de paraffine).
- évaluation des vides communicants avec la méthode française décrite dans la norme française NF P 98-254-2 (par percolation d'eau)
- détermination sur divers échantillons de la masse volumique et de la composition de l'enrobé drainant

- calcul des vides résiduels (voir définition au chapitre 6.3).

5.1 Description des méthodes de mesure

5.1.1 Evaluation de la teneur en vides résiduels par mesure géométrique

La méthode que nous avons utilisée consiste à:

- mesurer en 4 points le diamètre moyen de l'éprouvette
- déterminer par 4 mesures réparties la hauteur moyenne de l'échantillon
- après séchage, mesurer la masse de l'éprouvette
- calculer la masse volumique apparente de la carotte en rapportant la masse de l'échantillon au volume déterminé par mesure géométrique

La teneur en vides résiduels est déterminée en prenant compte la masse volumique réelle de l'échantillon d'enrobé. Celle-ci a été évaluée après que nous avons eu réalisé toutes les autres investigations, car la mesure appliquée est destructive.

5.1.2 Détermination de la teneur en vides résiduels avec le film de paraffine

Pour cette évaluation, nous nous sommes référés à la norme SN 671 967a intitulée «Enrobés hydrocarbonés. Masse volumique apparente. Calcul de la teneur en vides».

La méthode que nous avons appliquée peut être résumée ainsi:

- séchage de l'éprouvette et détermination de sa masse
- application de feuilles de paraffine sur tout le pourtour de l'échantillon et évaluation de sa masse
- détermination du volume de la carotte paraffinée par pesée hydrostatique

Comme dans le cas de la méthode de la détermination des vides résiduels par mesure géométrique, nous avons utilisé, pour calculer les vides, la masse volumique réelle.

5.1.3 Détermination du pourcentage de vides communicants

Pour déterminer les vides communicants des éprouvettes d'enrobé drainant que nous avons prélevées sur les différentes planches d'essais, nous nous sommes référés à la méthode contenue dans la norme française NF P 98-354-2 intitulée «Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux des mélanges hydrocarbonés. Partie 2: détermination du pourcentage de vides communicants des matériaux liés».

La méthode utilisée consiste à:

- sécher l'éprouvette
- calculer la hauteur et le diamètre moyen de l'échantillon sur la base de 5 mesures de chacune des 2 dimensions
- étancher la base et la paroi latérale de l'échantillon sans remplir les vides latéraux en appliquant d'abord un ruban adhésif de toile plastifiée puis de la paraffine

- déterminer la masse de l'éprouvette ainsi enduite
- verser lentement sur la face supérieure de l'échantillon de l'eau jusqu'à refus (répéter l'opération après 5 minutes si nécessaire)
- évaluer la masse de l'échantillon rempli d'eau après avoir préalablement épongé l'excès d'eau en surface

Le pourcentage des vides communicants se définit comme étant le rapport entre le volume d'eau percolé et le volume de l'échantillon.

6. QUATRIÈME ÉTAPE: DÉPOUILLEMENT ET ANALYSE DES RÉSULTATS

6.1 Transformation des résultats de mesure d'écoulement en valeurs de débit

Sur l'ensemble des appareils utilisés, seul le paramètre AUTUN automatique donne des résultats sous forme de débit par unité de surface. Aussi nous sommes-nous demandés en premier lieu si les résultats d'écoulement que nous avons mesurés avec les autres perméamètres, soit ceux fonctionnant à écoulement gravitaire, pouvaient également exprimer une notion de débit par unité de surface. Nous avons donc transformé les résultats d'écoulement en débit, en reportant le volume d'eau écoulé au temps de mesure et à une surface d'écoulement que nous avons admise comme étant égale à la surface sise à l'intérieur des joints des perméamètres. Ces transformations opérées, nous avons comparé les valeurs de débit obtenues (par calcul) avec les perméamètres à écoulement gravitaire à celles mesurées avec l'appareil AUTUN automatique en les reportant sur le graphique ci-dessous.

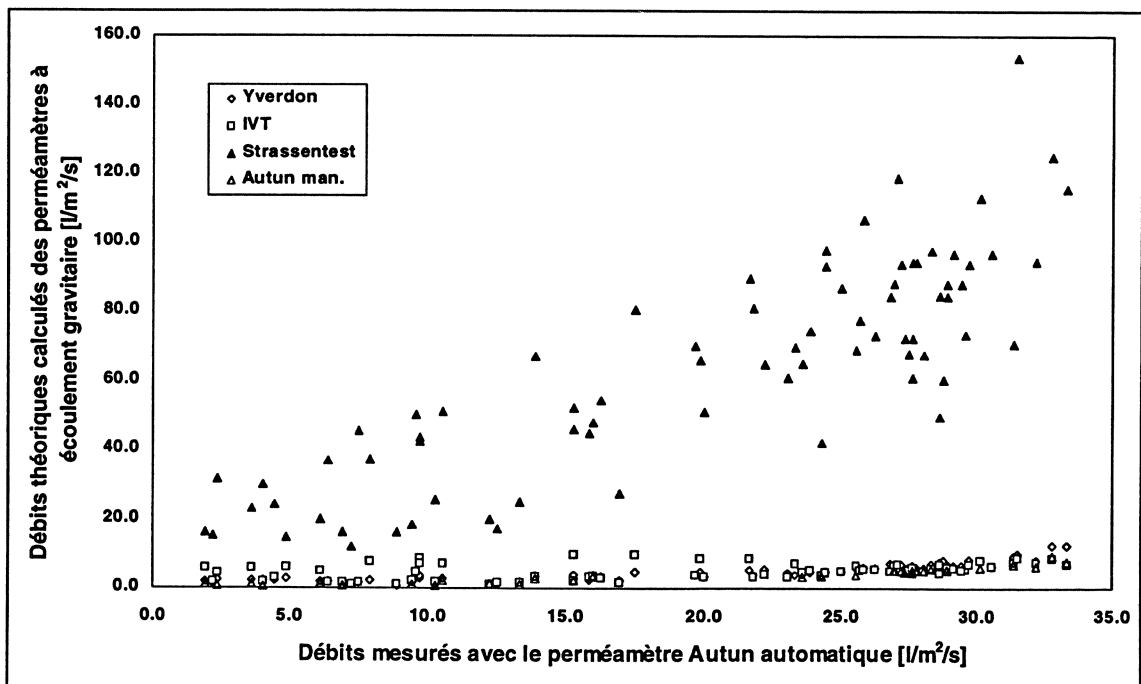


Figure 10: Débits théoriques calculés des perméamètres à écoulement gravitaire comparés aux valeurs mesurées avec l'appareil AUTUN automatique

Dans cette représentation graphique, nous constatons que le débit par unité de surface calculé pour les perméamètres à écoulement gravitaire n'est pas indépendant de l'appareil utilisé. Parmi les facteurs pouvant exercer une influence sur l'écoulement, ceux qui nous paraissent avoir une influence prépondérante sont:

- la nature du joint
- le lest appliqué

Il faut savoir que, lorsqu'on réalise une mesure de la drainabilité sur un revêtement drainant, on constate que de l'eau s'échappe latéralement du perméamètre. L'écoulement de l'eau se fait donc à la fois dans la couche et en surface de l'enrobé.

Or, si la part de débit s'écoulant à l'intérieur du revêtement drainant est fonction de la porosité du matériau, la part d'écoulement en surface dépend, entre autres, de la pénétration du joint dans le revêtement, donc de sa forme, de la nature du matériau qui le compose et de la pression exercée sur le joint.

Nos déductions, tirées des observations faites pendant la campagne de mesures, sont corroborées par une étude réalisée par le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) en 1993 et qui portait sur la comparaison des perméamètres français, anglais et espagnol. Dans ce rapport, figure la remarque suivante:

«L'écoulement de l'eau lors d'une mesure de drainabilité au perméamètre sur un revêtement drainant se fait à la fois dans la couche et en surface de l'enrobé. L'écoulement de surface est évidemment fonction de la macrotexture du matériau, mais également de la pénétration du joint dans les espaces entre les gravillons».

6.2 Comparaison des résultats d'écoulement obtenus avec les perméamètres sélectionnés

Dans cette partie, nous nous sommes attachés à examiner s'il existe des corrélations satisfaisantes entre les résultats des différents perméamètres que nous avons testés. Nous avons toutefois limité la recherche de corrélations aux équations de type:

- linéaire
- logarithmique
- exponentiel
- puissance

Les comparaisons possibles sont représentées dans les graphiques ci-dessous. Figurent également les lois présentant les meilleures corrélations ainsi que les coefficients de régression (r^2) optimaux obtenus:

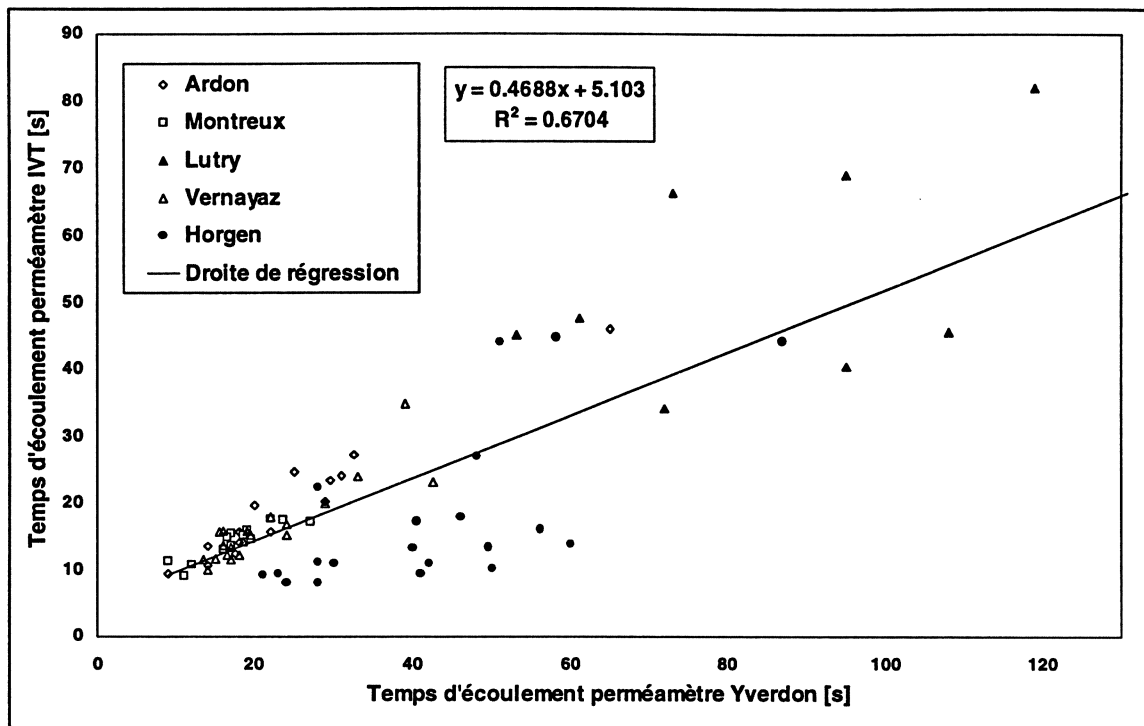


Figure 11: Comparaison des résultats des perméamètres Yverdon et IVT

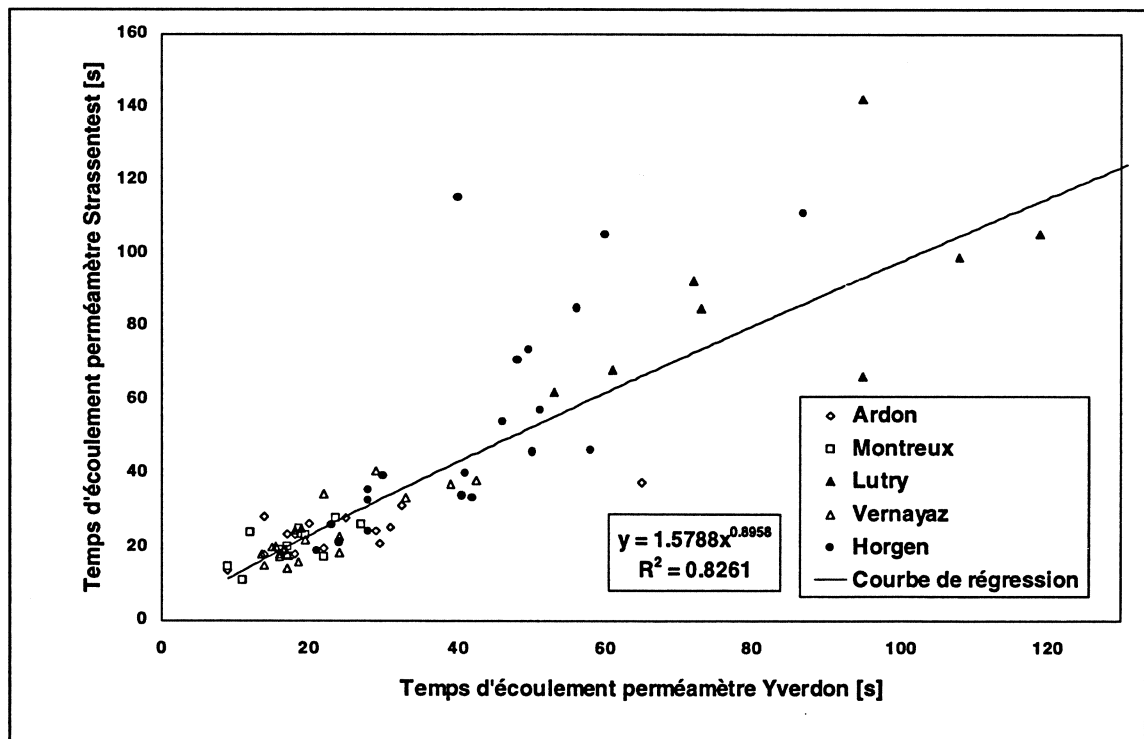


Figure 12: Comparaison des résultats des perméamètres Yverdon et Strassentest

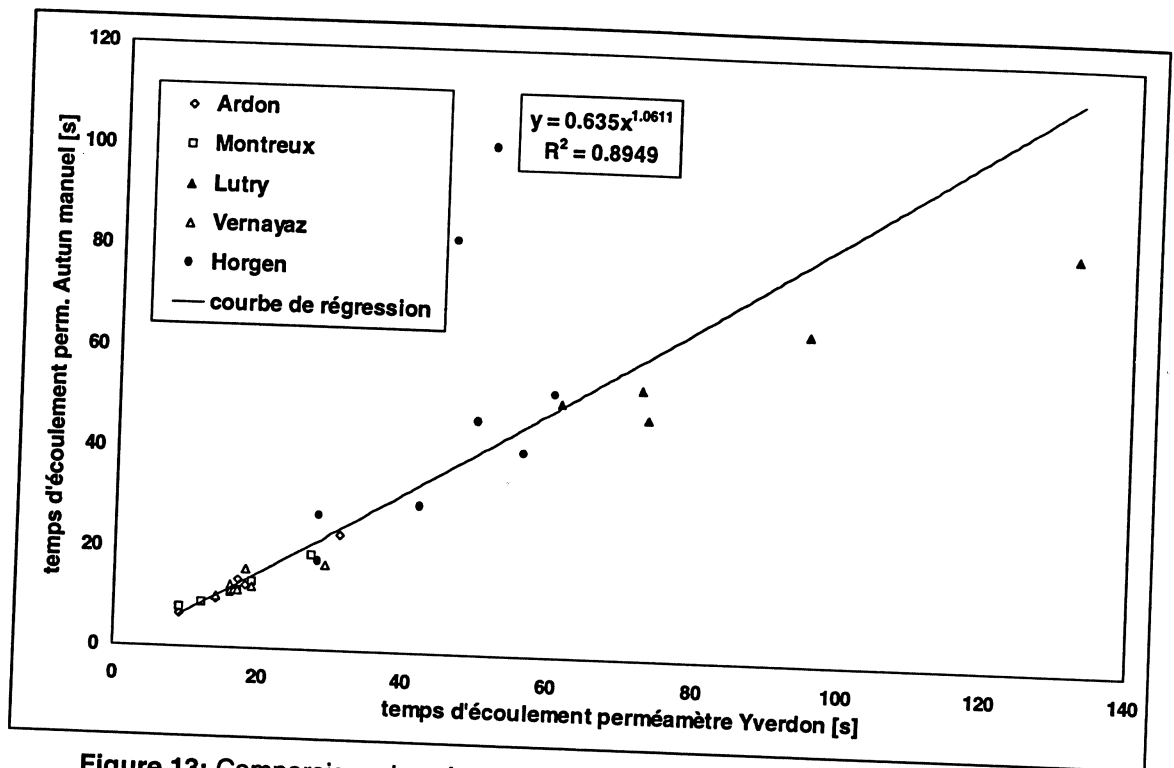


Figure 13: Comparaison des résultats des perméamètres Yverdon et Autun manuel

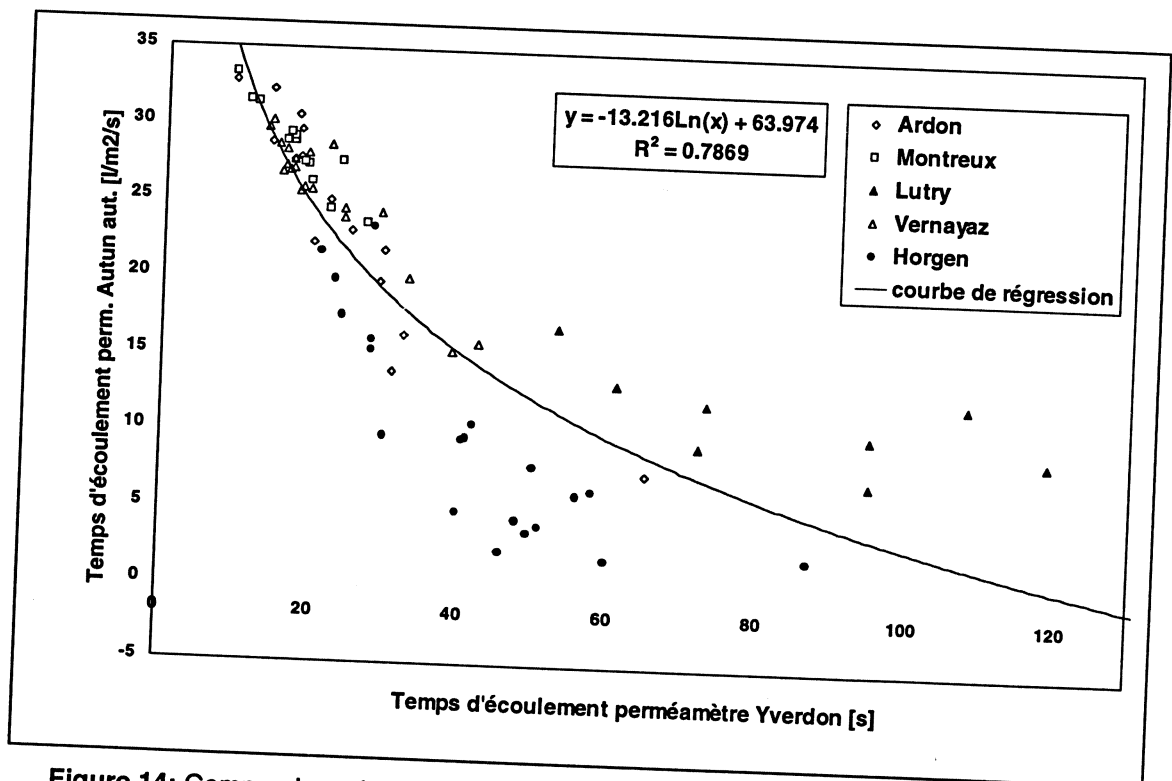


Figure 14: Comparaison des résultats des perméamètres Yverdon et Autun automatique

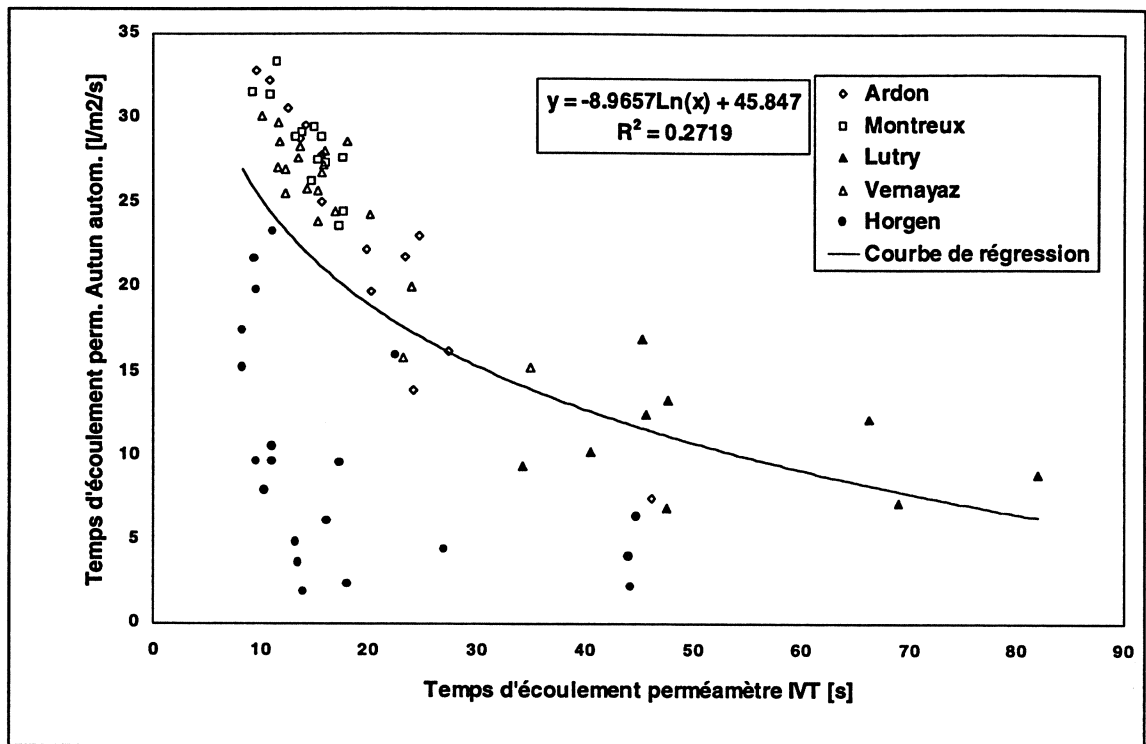


Figure 17: Comparaison des résultats des perméamètres IVT et Autun automatique

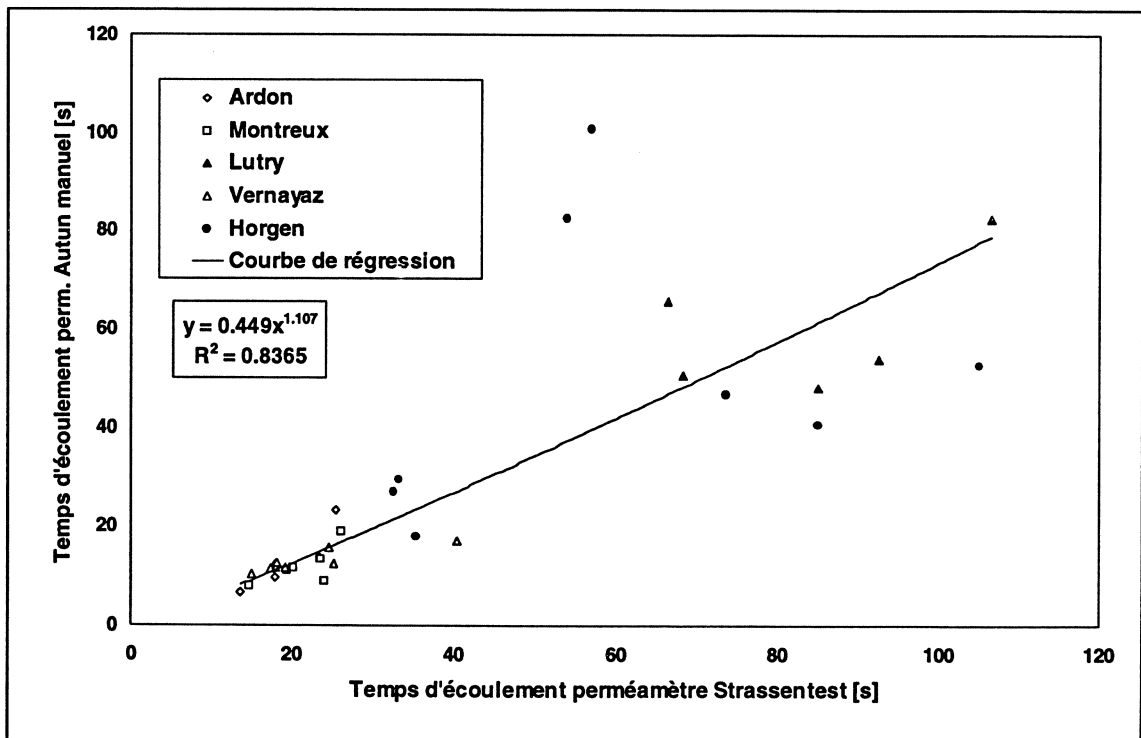


Figure 18: Comparaison des résultats des perméamètres Strassentest et Autun manuel

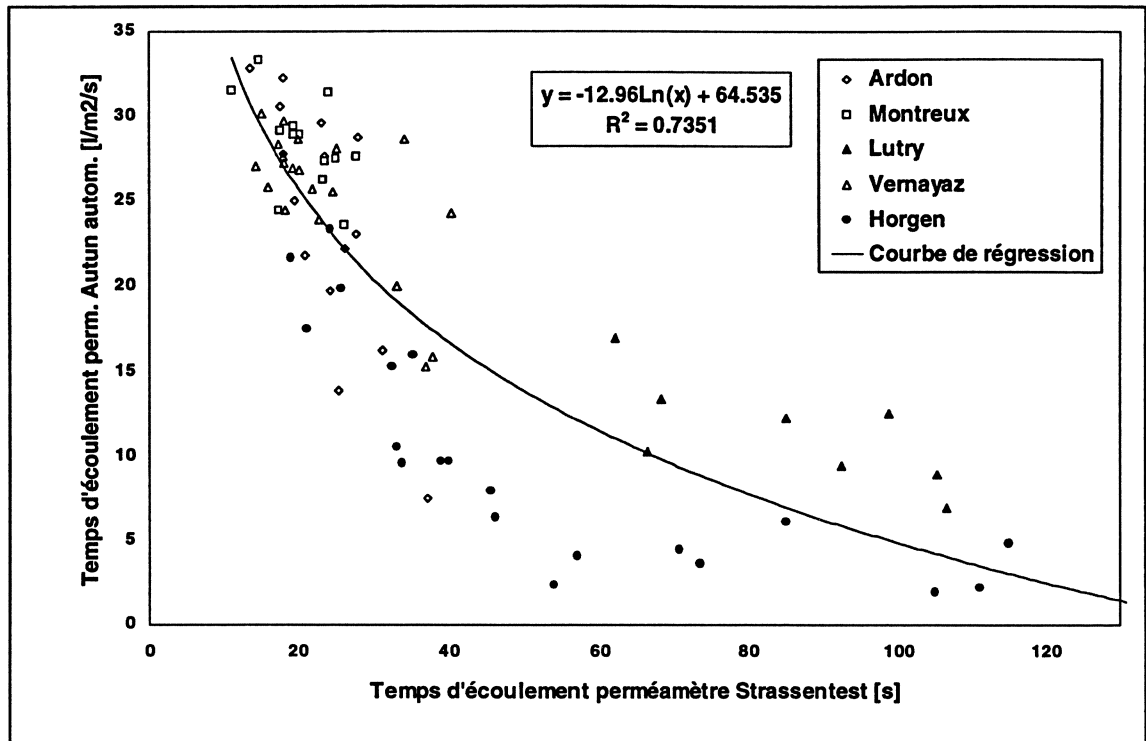


Figure 19: Comparaison des résultats des perméamètres Strassentest et Autun automatique

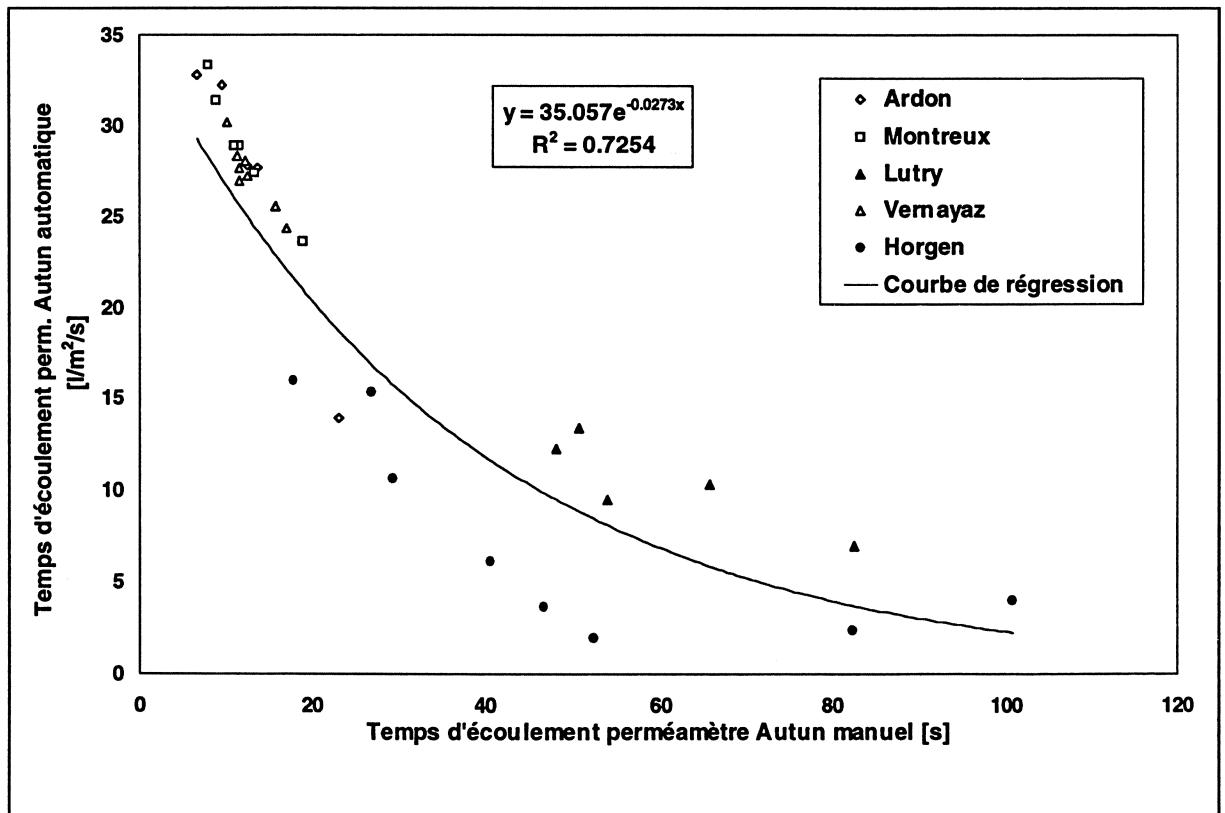


Figure 20: Comparaison des résultats des perméamètres Autun manuel et Autun automatique

Des graphiques présentés ci-dessus, nous pouvons formuler deux observations essentielles:

- Quels que soient les appareils comparés, nous remarquons sur chaque graphique un groupe de points relativement compact qui contient des résultats obtenus sur les planches d'Ardon, de Montreux et de Vernayaz ainsi qu'un nuage diffus de points qui regroupe les valeurs obtenues sur les planches de Lutry et d'Horgen.
- Selon les perméamètres comparés, le nuage de points est plus ou moins diffus et par conséquent les coefficients de régression obtenus (r^2) varient.

A propos de la première observation, nous verrons ultérieurement que le phénomène observé est lié à la teneur en vides des enrobés drainants des planches de mesures sélectionnées.

Le tableau suivant récapitule les lois de régression optimales et les coefficients (r^2) correspondants obtenus:

	Yverdon	IVT	Strassentest	Autun manuel	Autun automatique
Yverdon		$r^2 = 0,67$	$r^2 = 0,82$	$r^2 = 0,89$	$r^2 = 0,79$
IVT	linéaire		$r^2 = 0,48$	$r^2 = 0,44$	$r^2 = 0,27$
Strassentest	puissance	linéaire		$r^2 = 0,83$	$r^2 = 0,74$
Autun manuel	puissance	linéaire	puissance		$r^2 = 0,74$
Autun automatique	logarithme naturel	logarithme naturel	logarithme naturel	exponentielle	

Tableau 5: Comparaison des résultats des perméamètres entre eux.
Equations et coefficients de régression optimaux obtenus

En classant les couples de perméamètres en fonction de la corrélation de leurs résultats, cela nous permet d'évaluer les caractéristiques des instruments utilisés qui influent sur ces corrélations. Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Corrélation (r^2)	Ecoulement	Niveau d'eau	Type de joint	Lest
> 0,80	gravitaire-gravitaire	constant-variable	mastic-néoprène	constant-variable
	gravitaire-gravitaire	variable-variable	néoprène-mousse	constant-constant
	gravitaire-gravitaire	constant-variable	mastic-mousse	constant-constant
0,70.....0,80	pression-gravitaire	constant-constant	silastène-mastic	constant-variable
	pression-gravitaire	constant-variable	silastène-mousse	constant-constant
	pression-gravitaire	constant-variable	silastène-néoprène	constant-constant
< 0,70	gravitaire-gravitaire	constant-variable	mastic-mastic	aucun-variable
	gravitaire-gravitaire	variable-variable	mastic-mousse	aucun-constant
	gravitaire-gravitaire	variable-variable	mastic-néoprène	aucun-constant
	pression-gravitaire	constant-variable	mastic-silastène	aucun-constant

Tableau 6: Classement des caractéristiques des perméamètres en fonction des corrélations obtenues dans les comparaisons des résultats des mesures d'écoulement

Il ressort de ce tableau que les meilleures corrélations sont obtenues entre appareils:

- à écoulement gravitaire
- munis d'un lest

La nature du joint influe relativement peu sur les corrélations obtenues.

6.3 Comparaison entre les résultats d'écoulement et les vides mesurés

6.3.1 Détermination des vides

Dans notre étude, nous avons déterminé deux sortes de vides sur les échantillons d'enrobé drainant prélevés au droit de certaines mesures de perméabilité, soit:

- **les vides résiduels**, que l'on a obtenus par la méthode de la mesure géométrique du volume de l'éprouvette et par la méthode du film de paraffine en suivant le mode opératoire de la norme SN 671 967a. La teneur en vides résiduels d'un échantillon est le volume de pores en pour-cent du volume total. Le volume des pores ne comprend pas les vides contenus dans les granulats et qui ne sont pas remplis par le liant.
- **les vides communicants**, que l'on a déterminé en suivant le mode opératoire de la norme française NF P 98-254-2 «Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux des mélanges hydrocarbonés, partie 2: Détermination du pourcentage de vides communicants des matériaux liés».

En première analyse, nous nous sommes attachés à évaluer les corrélations possibles entre les résultats des différentes mesures des vides réalisées.

Les résultats obtenus sont représentés sur les graphiques ci-dessous:

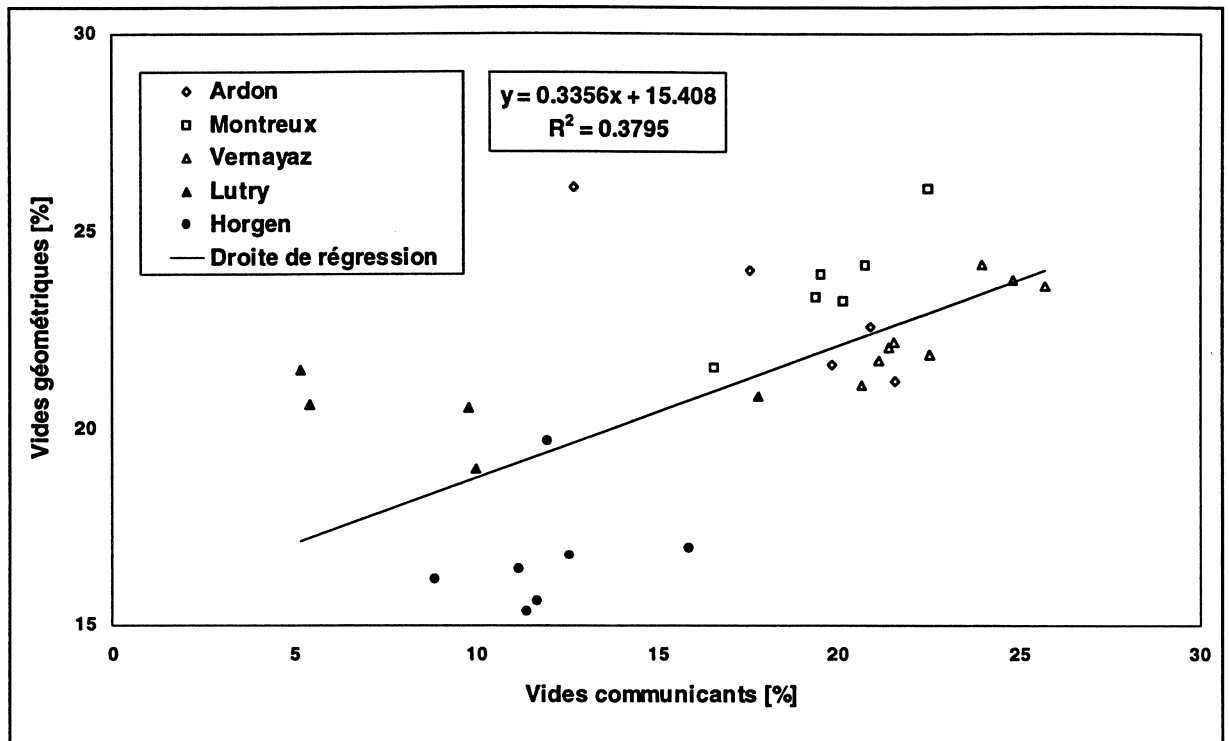


Figure 21: Comparaison des vides résiduels obtenus par la méthode de la mesure géométrique de l'éprouvette aux vides communicants

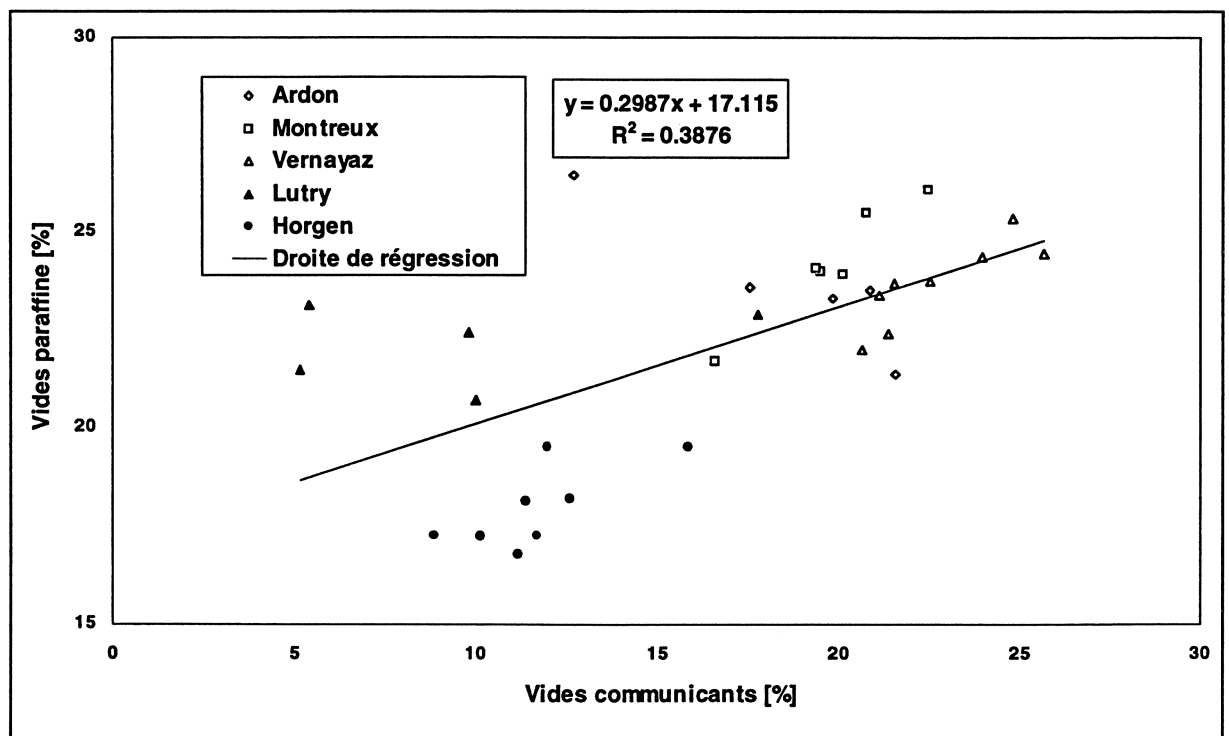


Figure 22: Comparaison des vides résiduels obtenus par la méthode du film de paraffine aux vides communicants

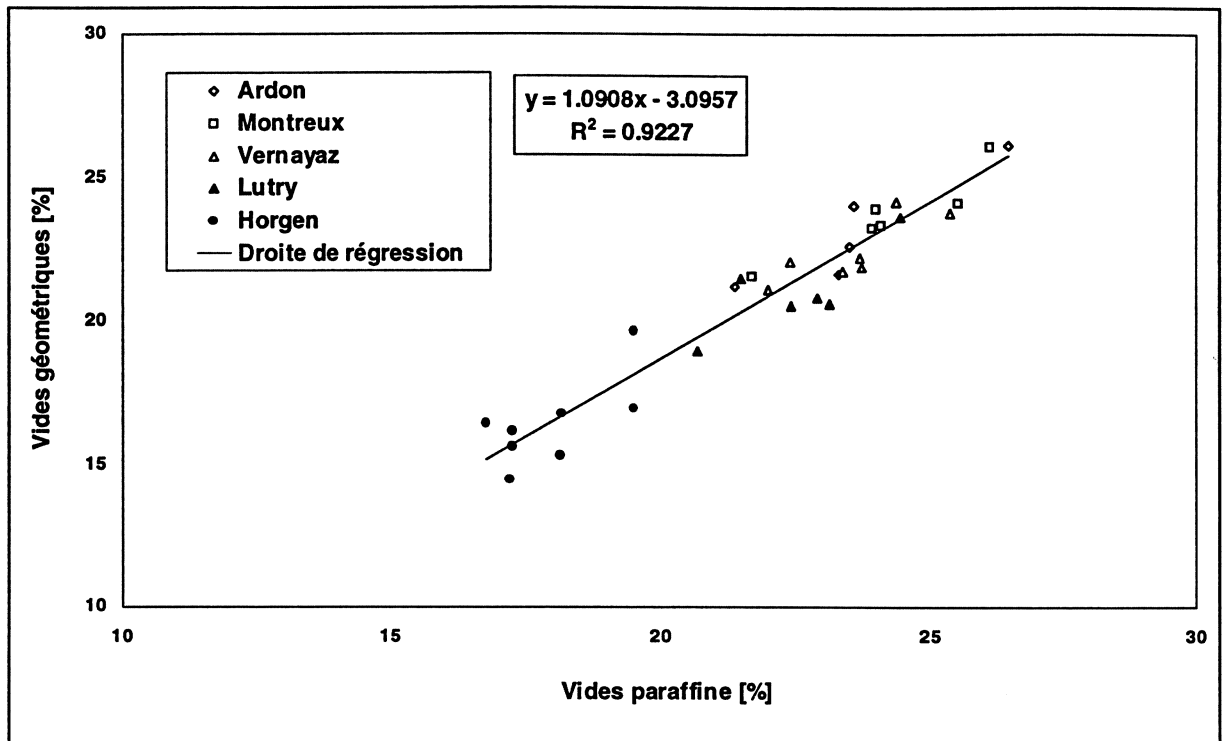


Figure 23: Comparaison des vides résiduels déterminés selon les deux méthodes de la mesure géométrique de l'éprouvette et du film de paraffine

Comme nous pouvons le constater, il n'y a pas de corrélation satisfaisante entre les vides résiduels et les vides communicants. Par contre, la corrélation entre les résultats des deux mesures des vides résiduels est bonne, avec un r^2 de 0,92 dans le cas d'une régression optimale qui est de type linéaire. En analysant les paramètres de la droite de régression, nous remarquons que les vides déterminés par la méthode de la mesure géométrique du volume de l'éprouvette sont entre 1 et 2 % plus faibles que les vides déterminés par la méthode du film de paraffine. Nous attirons l'attention sur le fait que l'équation de régression a été obtenue avec des résultats de mesures effectuées sur des éprouvettes de tailles sensiblement identiques. La constatation citée ci-dessus ne peut par conséquent être transposée sans autre pour d'autres applications.

Sur l'ensemble des graphiques présentés ci-dessus, nous remarquons deux groupes de points distincts:

- un groupe composé des résultats des planches d'Ardon, Montreux et Vernayaz
- l'autre, composé des résultats des planches de Lutry et d'Horgen.

Le tableau ci-dessous résume les résultats comparatifs des deux groupes:

	Vides résiduels		Vides communicants
	mesure géométrique	film de paraffine	
Moyenne des résultats groupe 1	23, 1 %	23, 8 %	20,7 %
Moyenne des résultats groupe 2	18, 0 %	19,6 %	10,9 %
Différence entre les moyennes des groupes	5,1 %	4,2 %	9,8 %

Tableau 7: Moyennes des résultats des vides mesurés par groupes de planches et différences

Pour les planches d'Ardon, de Montreux et de Vernayaz, les vides communicants obtenus sont en moyenne inférieurs de quelque 3 % aux vides résiduels. Pour les autres planches, l'écart entre les vides communicants et les vides résiduels atteint 8 %. Cette constatation permet d'expliquer les observations faites lorsque nous avons comparé les résultats des perméamètres entre eux.

6.3.2 Comparaison des résultats d'écoulement avec les teneurs en vides résiduels et en vides communicants

6.3.2.1 Analyse globale des résultats

Dans les graphiques ci-dessous, sont représentés les résultats obtenus avec les perméamètres sélectionnés en fonction des vides résiduels et communicants déterminés sur éprouvettes d'enrobé drainant prélevées au droit des points de mesure.

Nous avons choisi d'exprimer les résultats d'écoulement en unité de temps. Celle-ci est en effet une valeur commune à l'ensemble des résultats des perméamètres à écoulement gravitaire. Les résultats de débit obtenus avec le perméamètre Autun automatique ont donc été transformés en unités de temps. Afin que nous puissions comparer l'ensemble des résultats sur une base commune, nous avons réalisé une régression linéaire de façon que la moyenne des valeurs obtenues par chacun des perméamètres soit de 50.

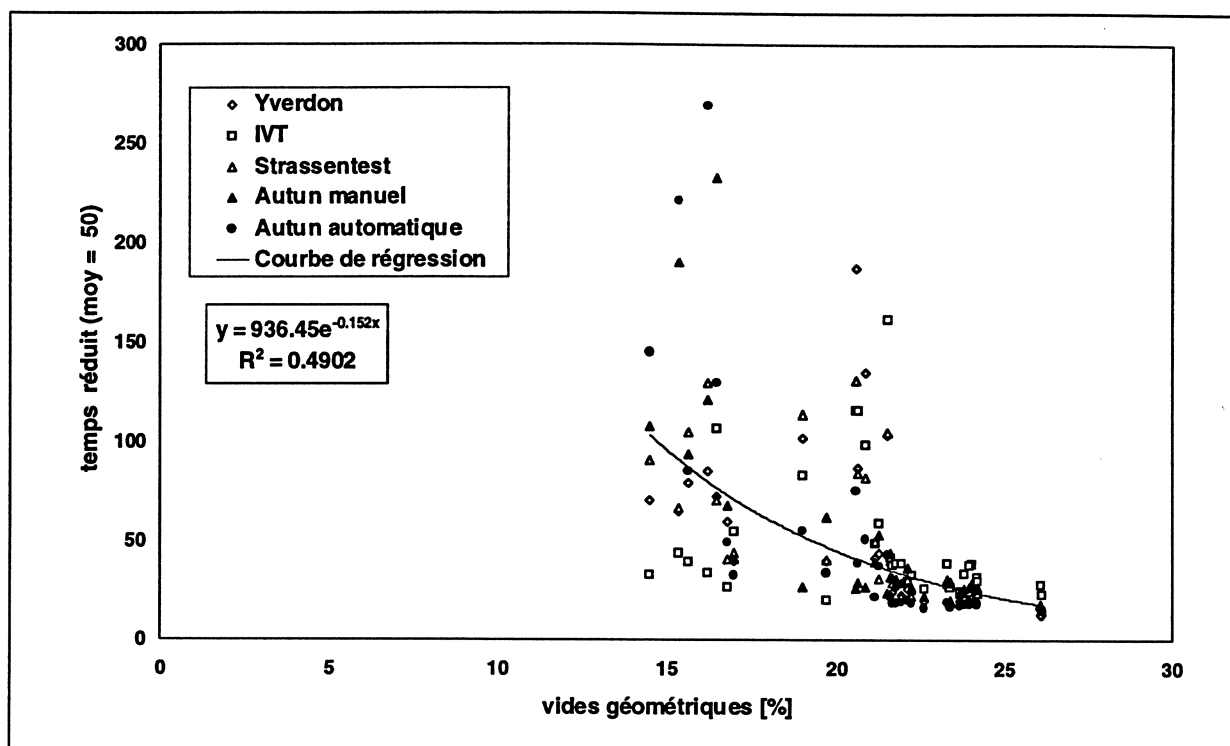


Figure 24: Résultats «ajustés» des mesures d'écoulement exprimés en unité de temps en fonction des vides résiduels (mesure géométrique de l'éprouvette)

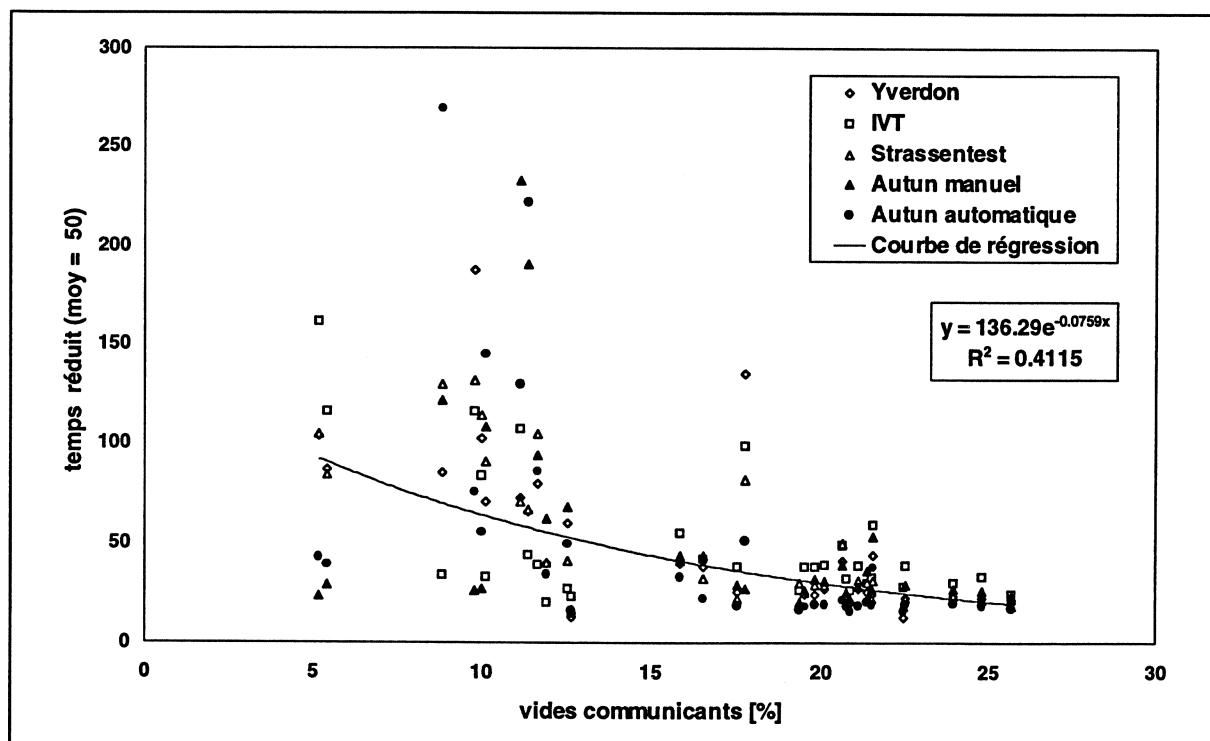


Figure 25: Résultats «ajustés» des mesures d'écoulement exprimés en unité de temps en fonction des vides communicants

On constate une évolution des temps d'écoulement en fonction des vides géométriques qui se présente comme suit:

- au-dessus de 21 % de vides, les temps d'écoulement sont faibles et les résultats groupés,
- à 21 % et au-dessous, les temps d'écoulement sont fortement dispersés et croissent fortement en fonction de la diminution des vides (loi de régression de type exponentiel)

On observe une évolution identique lorsque l'on exprime les temps d'écoulement en fonction des vides communicants, mais la courbe de régression croît nettement moins fortement en fonction de la diminution des vides. Les valeurs d'écoulement des divers perméamètres testés sont:

- faibles et groupées au-dessus de 18 % de vides communicants
- plus élevées et dispersées au-dessous de 18 % de vides communicants

6.3.2.2 Analyse des résultats par perméamètre

Dans cette partie, nous avons voulu déterminer quel est le perméamètre dont les résultats d'écoulement offrent les meilleures corrélations avec les vides mesurés sur les éprouvettes d'enrobé drainant. Dans les graphiques ci-dessous, sont représentés pour chaque perméamètre les résultats d'écoulement en fonction:

- des vides résiduels (méthode de la mesure géométrique des éprouvettes)
- des vides communicants

ainsi que la courbe de régression optimale et son coefficient de régression (r^2) obtenus:

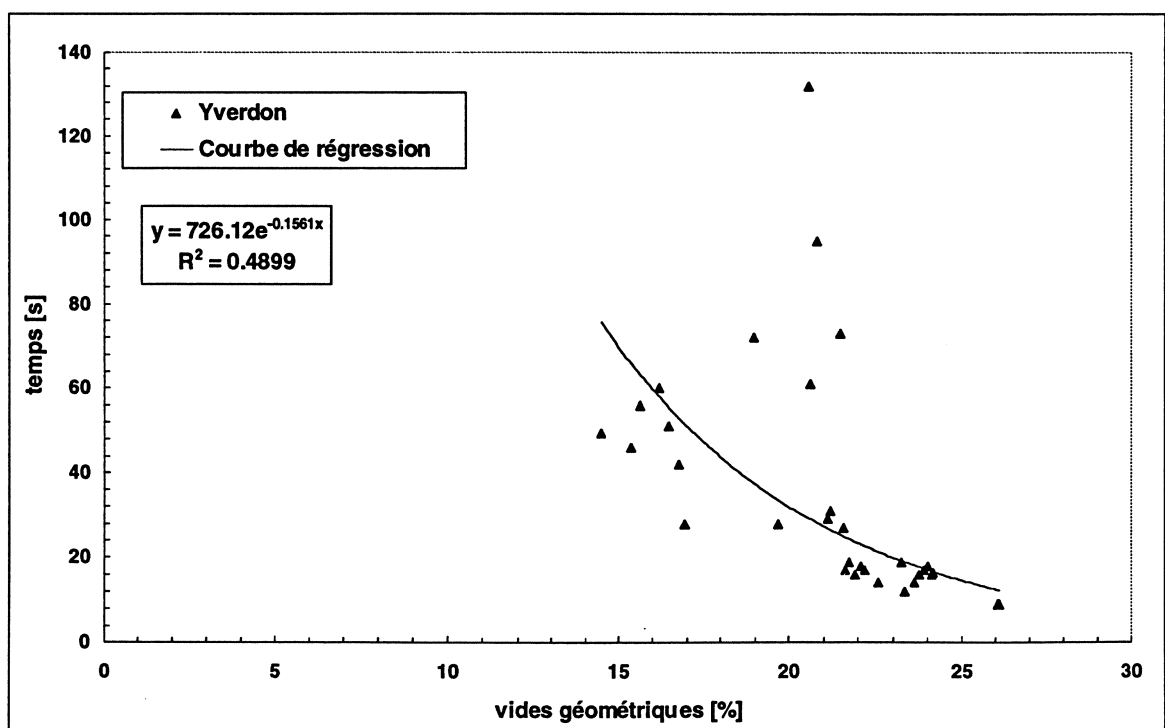


Figure 26: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Yverdon en fonction des vides résiduels (mesure géométrique)

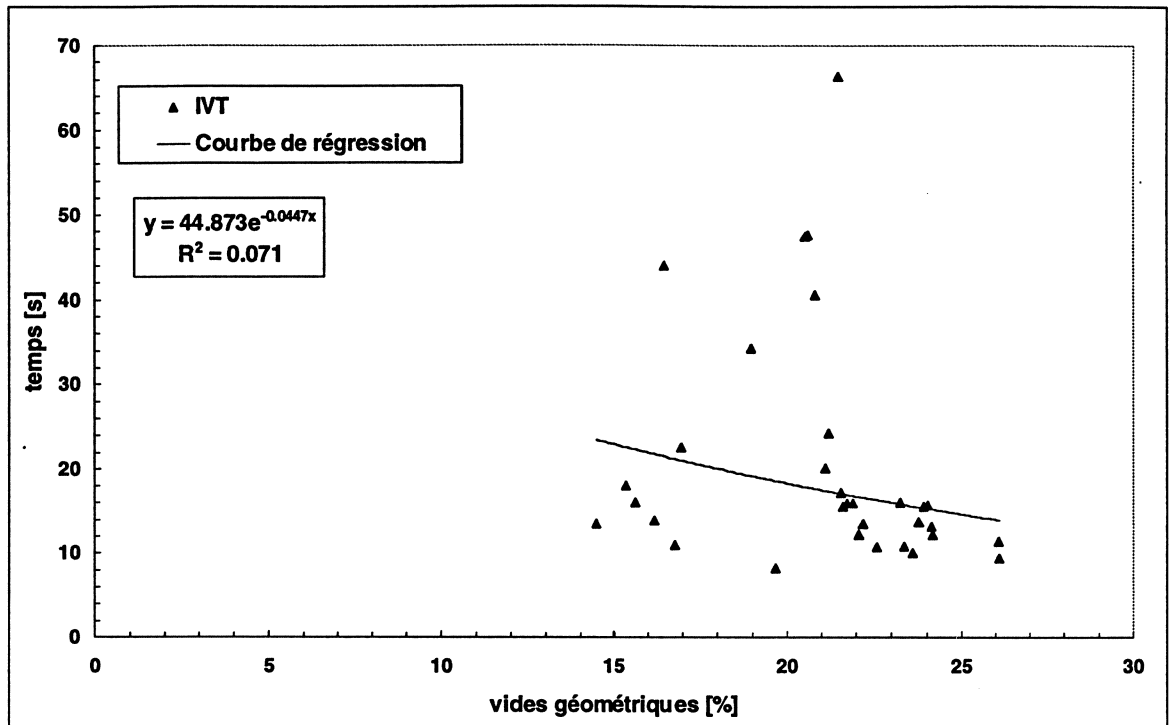


Figure 27: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre IVT en fonction des vides résiduels (mesure géométrique)

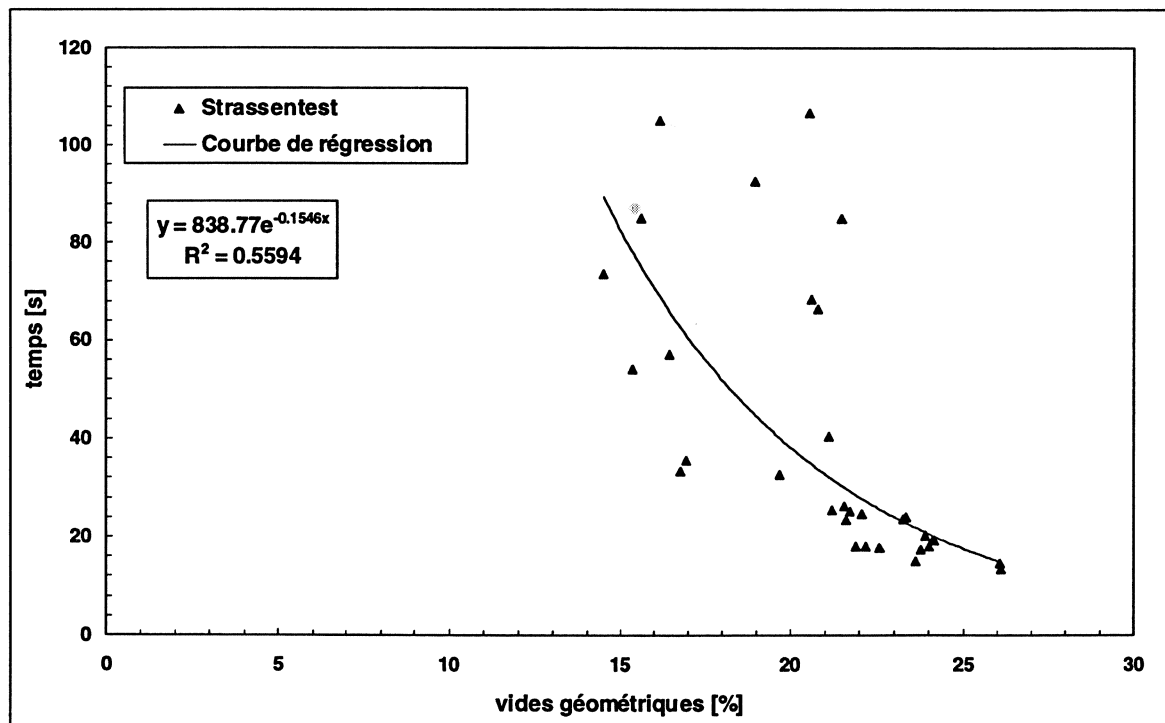


Figure 28: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Strassentest en fonction des vides résiduels (mesure géométrique)

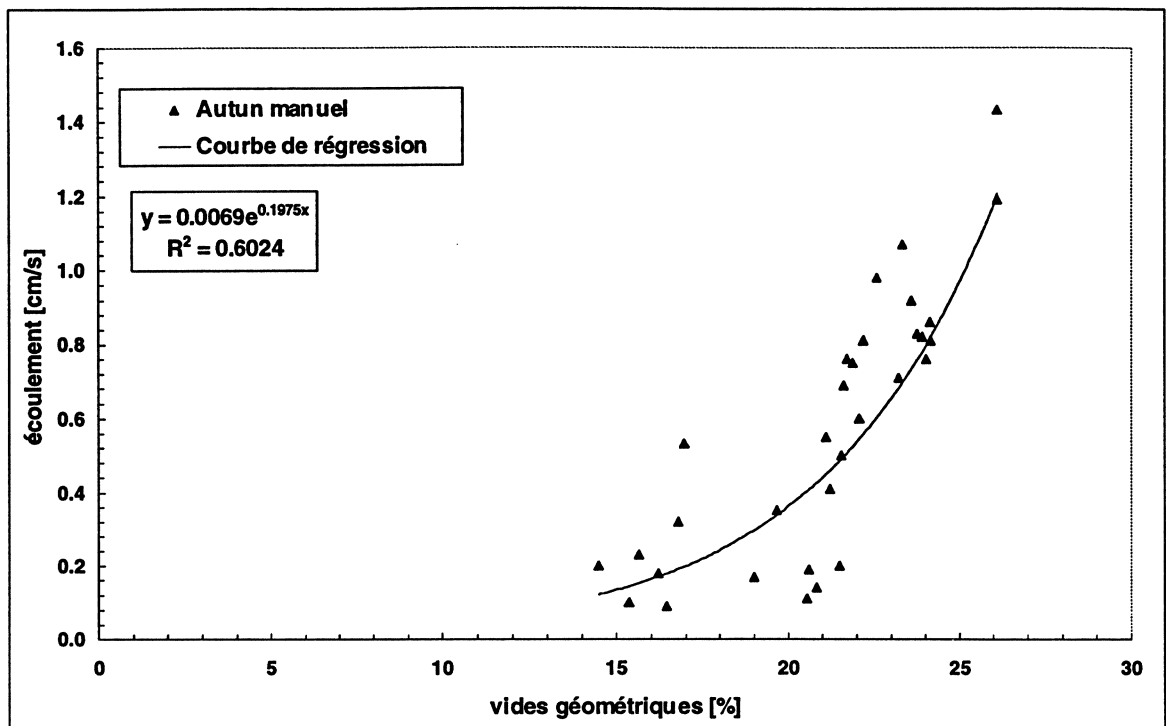


Figure 29: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Autun manuel en fonction des vides résiduels (mesure géométrique)

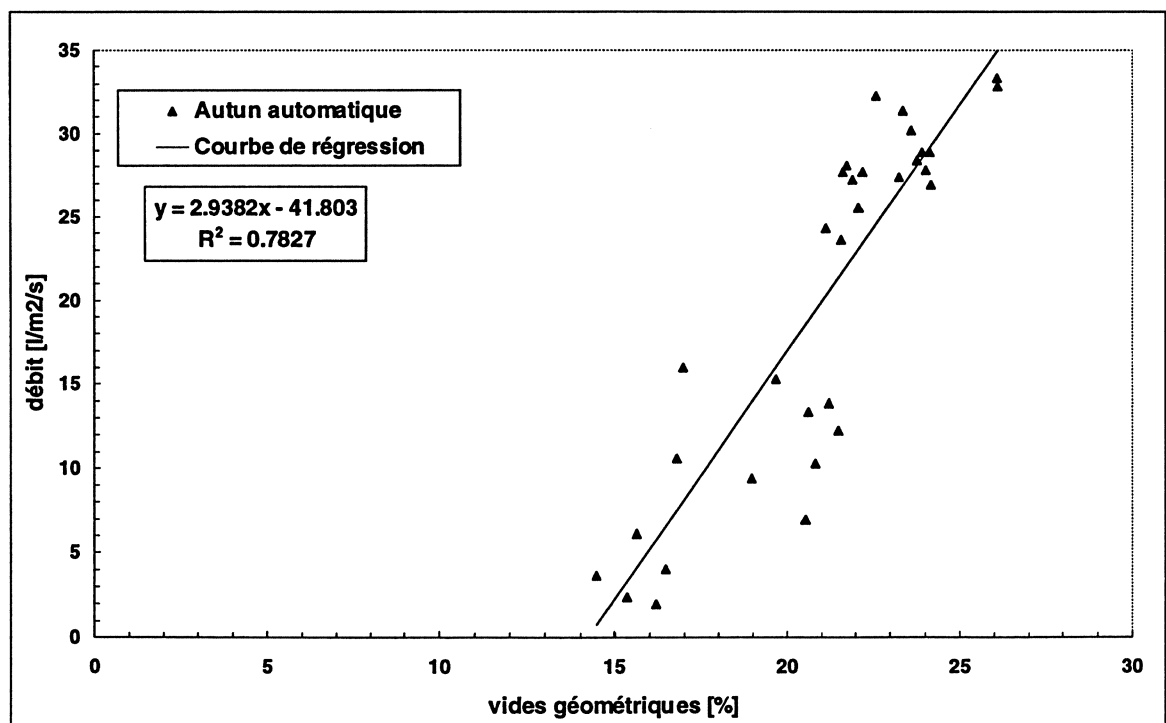


Figure 30: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Autun automatique en fonction des vides résiduels (mesure géométrique)

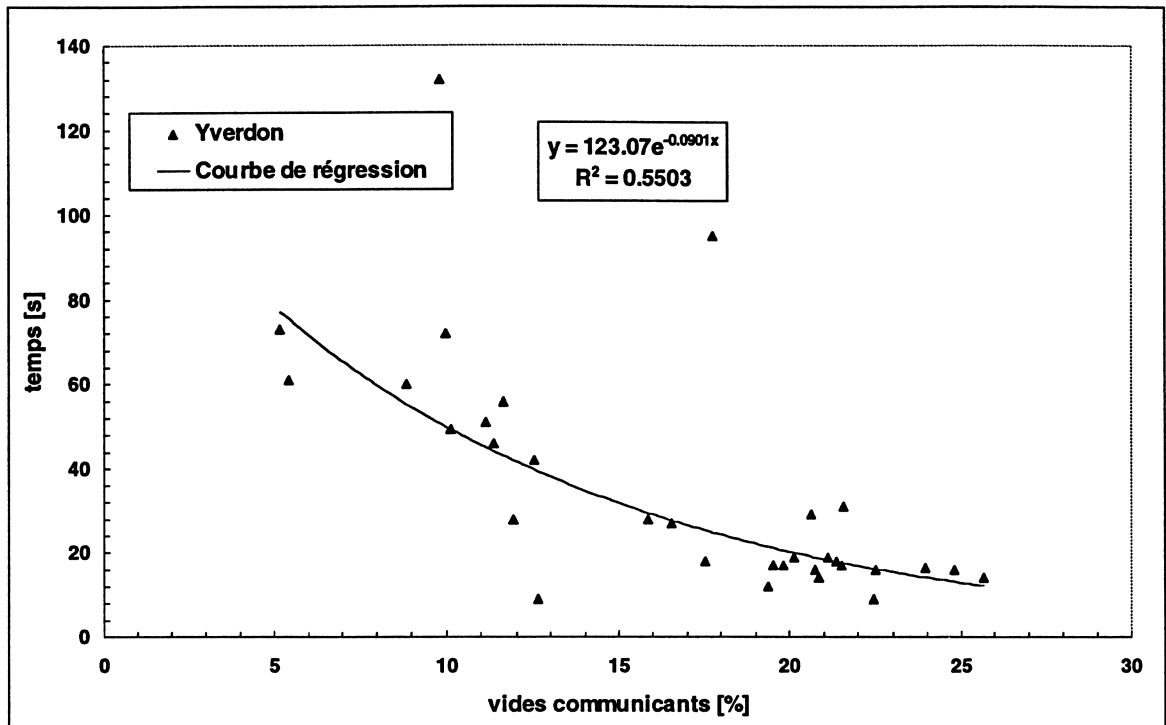


Figure 31: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Yverdon en fonction des vides communicants

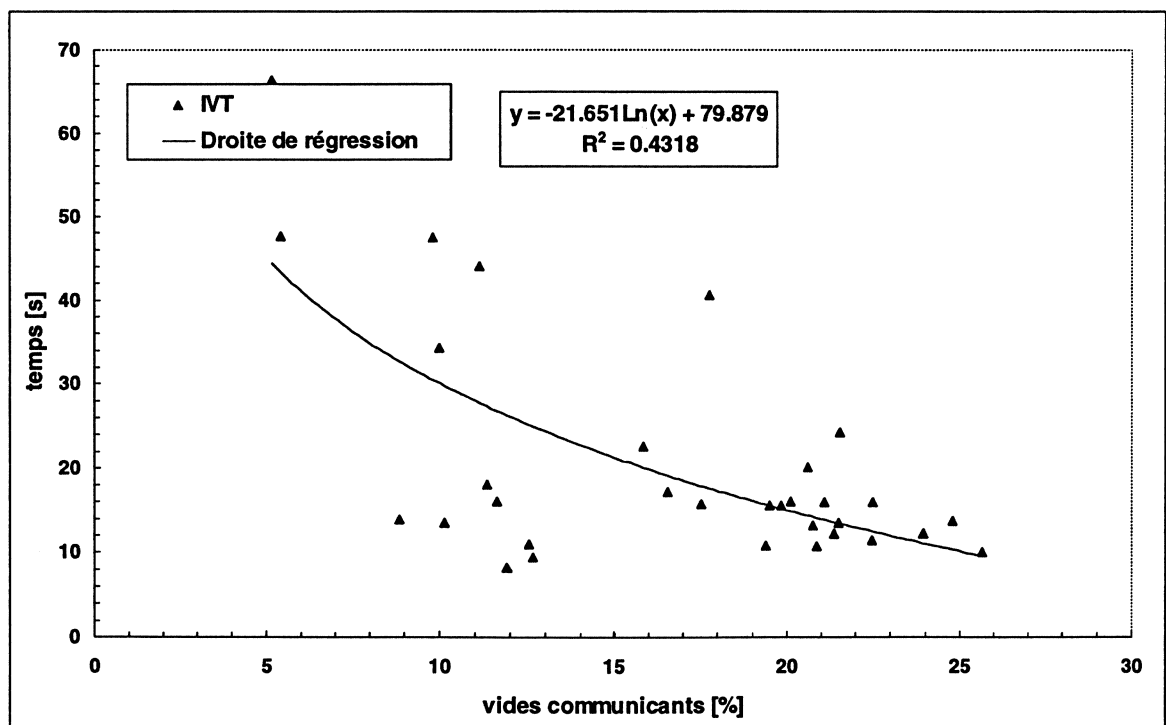


Figure 32: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre IVT en fonction des vides communicants

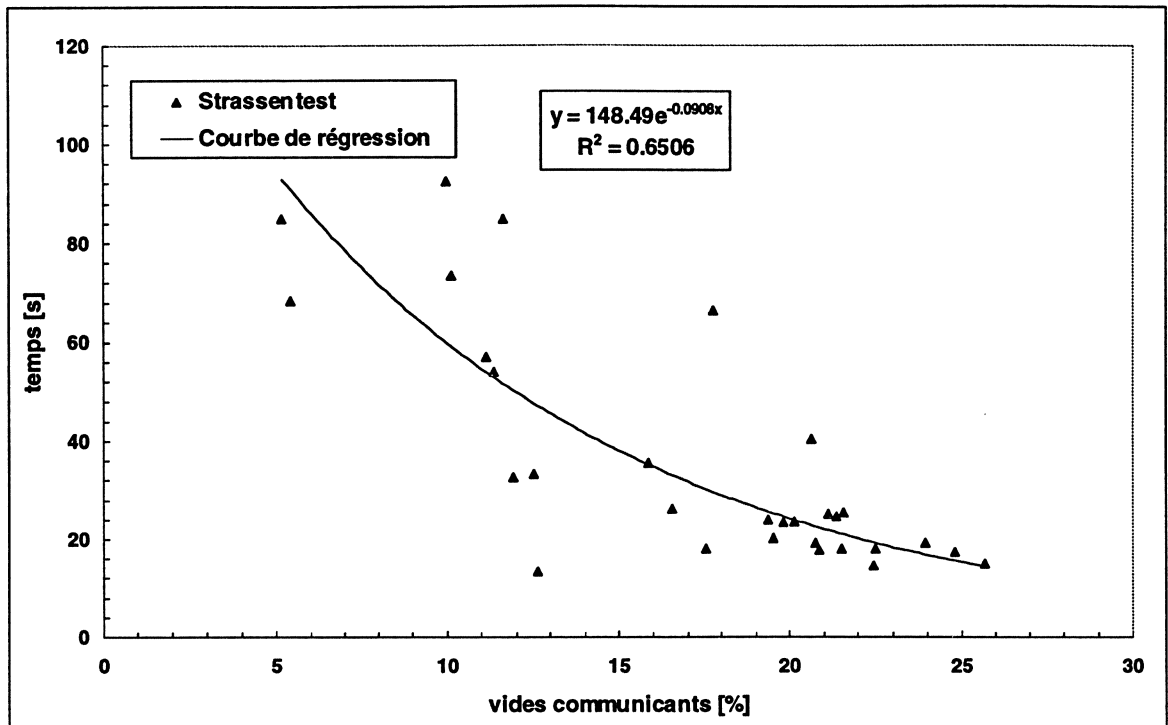


Figure 33: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Strassentest en fonction des vides communicants

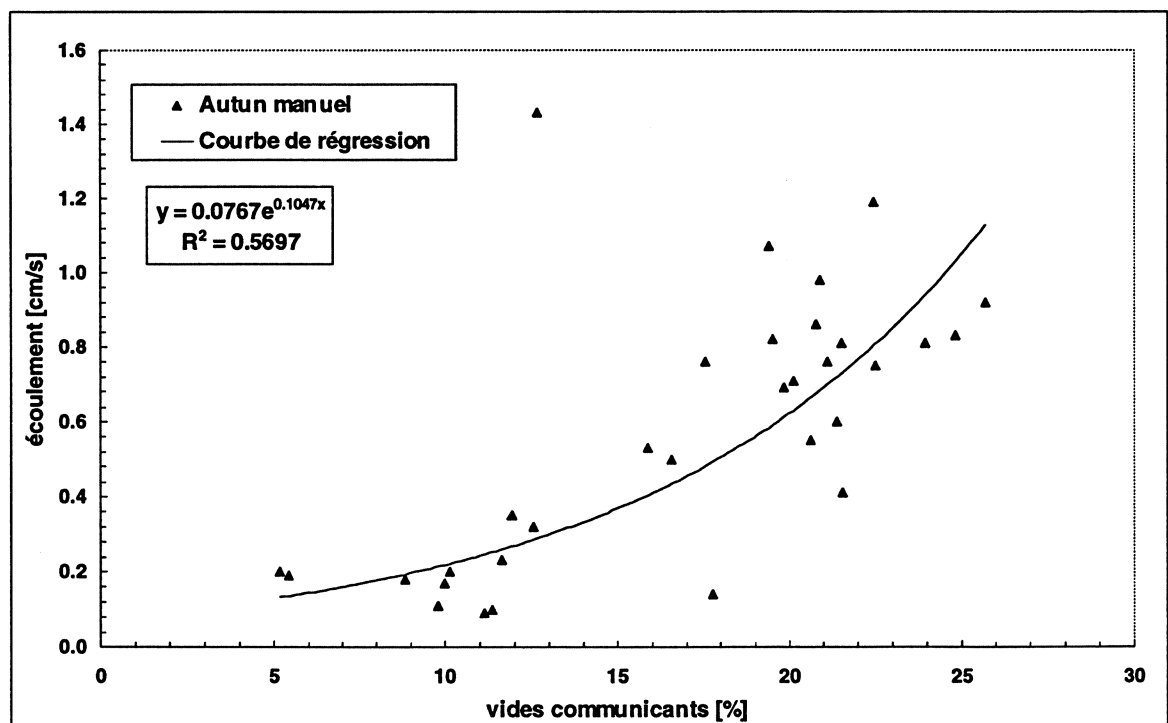


Figure 34: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Autun manuel en fonction des vides communicants

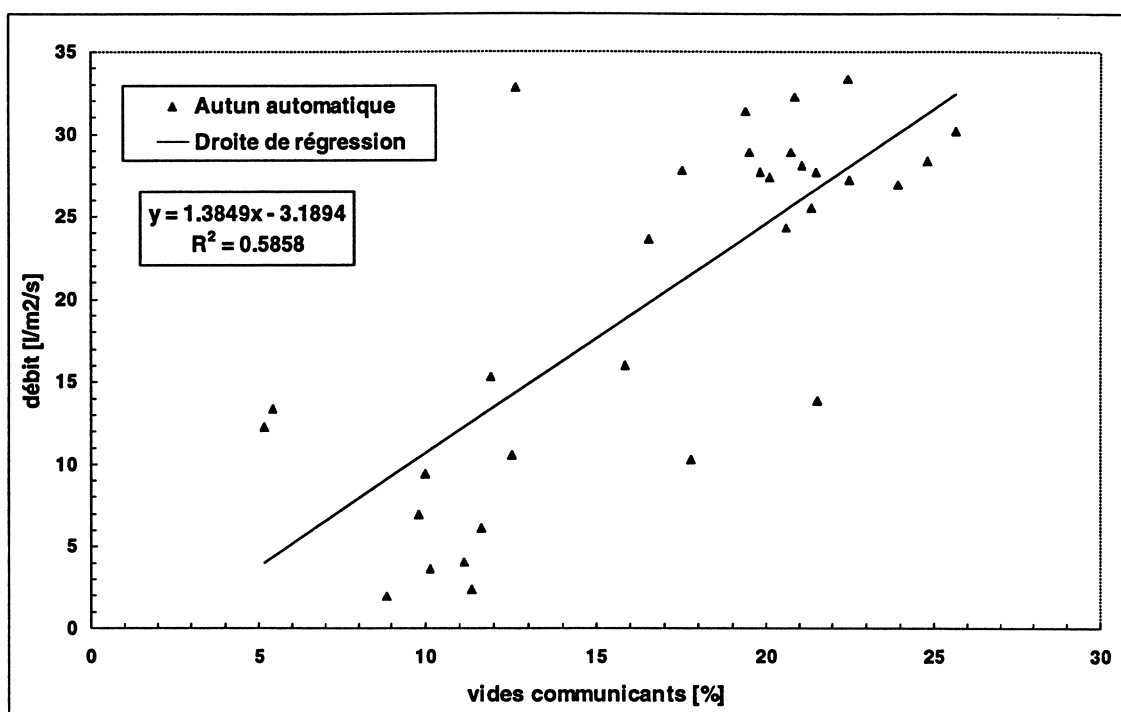


Figure 35: Résultats des mesures d'écoulement obtenus avec le perméamètre Autun automatique en fonction des vides communicants

Sur le tableau ci-dessous, sont récapitulés les types de loi de régression et les coefficients (r^2) optimaux obtenus:

Perméamètre	Ecoulement/Vides géométriques		Ecoulement/Vides communicants	
	Courbe de régression	r^2	Courbe de régression	r^2
Yverdon	expon.	0,49	expon.	0,55
IVT	expon.	0,07	log. nat.	0,43
Strassentest	expon.	0,56	expon.	0,65
Autun manuel	expon.	0,60	expon.	0,57
Autun automatique	droite	0,78	droite	0,59

Tableau 8: Lois de régression et coefficients optimaux obtenus entre les résultats d'écoulement et les vides résiduels et communicants

En classant les perméamètres en fonction du niveau de concordance entre les résultats des mesures d'écoulement et les vides obtenus sur éprouvettes carottées (moyenne des coefficients de régression vides géométriques/vides communicants), nous obtenons le tableau suivant:

Classement	Perméamètre	Type d'écoulement	Couronne de base	Type de joint	Type de lest
1 ^{er}	Autun automatique	sous pression	oui	silastène	charge constante (vérin)
2 ^{ème}	Strassentest	gravitaire	oui	mousse	charge constante (masse métal.)
3 ^{ème}	Autun manuel	gravitaire	oui	néoprène	charge constante (vérin)
4 ^{ème}	Yverdon	gravitaire	oui	mastic	charge variable (homme)
5 ^{ème}	IVT	gravitaire	non	mastic	non

Tableau 9: Classement des perméamètres en fonction du niveau de concordance entre les résultats des valeurs d'écoulement et les vides mesurés sur enrobé drainant

Les meilleures concordances entre les mesures d'écoulement et les vides des enrobés drainants sont obtenues avec le perméamètre Autun automatique, soit celui qui fonctionne à pression imposée, avec un lest constant exercé sur le joint en matière synthétique.

Les moins bonnes concordances sont obtenues avec le perméamètre IVT, à écoulement gravitaire, sans lest, avec un joint en mastic appliqué sur la face latérale de l'appareil.

Les résultats de corrélation entre les vides du matériau drainant et les valeurs obtenues des mesures d'écoulement mettent donc en évidence, pour les perméamètres à écoulement gravitaire, le rôle du type de joint, du lest et de son mode d'application.

Ces constatations confirment également l'existence d'un écoulement qui se passe en surface de l'enrobé. Cet écoulement de surface est plus ou moins important selon la nature du joint, de la macrotexture en surface de l'enrobé et de la présence ou non d'une charge appliquée sur ce joint.

Nous pouvons donc déduire des remarques énumérées ci-dessus que les résultats d'écoulement sur une couche de roulement en enrobé drainant sont fonction:

- du type d'écoulement (gravitaire ou à pression imposée)
- de la macrotexture en surface de l'enrobé
- de la nature du joint de l'instrument utilisé
- de la charge appliquée sur le joint

7. CONCLUSIONS

7.1 Etude

L'étude menée par notre laboratoire a porté sur:

- la comparaison des résultats de mesures entre perméamètres
- l'évaluation des relations existant entre certaines caractéristiques des instruments utilisés et les écoulements mesurés
- la comparaison entre vides résiduels et vides communicants
- l'évaluation de la concordance entre les vides et les résultats des mesures d'écoulement

Les mesures ont été faites sur 5 tronçons de routes revêtues d'une couche de roulement en enrobé drainant.

Les appareils utilisés pour les mesures d'écoulement, au nombre de 5, ont été sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques après que l'on eut recensé les perméamètres utilisés en Suisse et dans l'Union Européenne.

7.2 Observations

L'analyse des résultats nous a permis de mettre en évidence les observations suivantes:

- Si l'on transforme les résultats des mesures d'écoulement obtenus avec les perméamètres à écoulement gravitaire en débit, en rapportant le volume écoulé au temps de mesure et à la surface sise à l'intérieur du joint de l'instrument, nous remarquons que ces valeurs de débit ne dépendent pas seulement des caractéristiques du matériau bitumineux drainant testé, mais également du type d'appareil de mesure utilisé.
- En comparant les résultats d'écoulement obtenus avec les perméamètres sélectionnés entre eux, nous remarquons que les meilleures corrélations sont obtenues entre instruments équipés de joint en mastic ou en caoutchouc, sur lesquels une pression constante est exercée.
- Lorsque l'on réalise un essai d'écoulement sur enrobé drainant, l'eau s'écoule à la fois dans la couche et en surface du matériau. L'écoulement de surface est fonction de la pénétration du joint dans le revêtement testé, donc:
 - de la macrotexture du matériau bitumineux
 - de la nature du matériau utilisé comme joint
 - de la charge appliquée sur le joint

- Il n'y a pas de corrélation satisfaisante entre les vides résiduels et les vides communicants, ce qui confirme implicitement que la proportion de vides communicants est également fonction de la géométrie du minéral.
- L'adéquation entre les résultats des mesures d'écoulement et les vides communicants du matériau testé est en général meilleure que celle existant entre les vides résiduels et les valeurs d'écoulement.

7.3 Propositions

En fonction des informations énumérées ci-dessus, nous pouvons publier les considérations et propositions suivantes, qui pourraient être utilisées à dessein pour l'élaboration d'une norme sur les enrobés drainants:

- Dans l'étude de formulation menée pour établir la recette de l'enrobé, il conviendrait de faire référence aux vides communicants plutôt qu'aux vides résiduels.
- Le seul critère des vides du matériau dans une étude de formulation est insuffisant. Il convient également, pour les enrobés drainants, de faire référence à l'aptitude au compactage que l'on peut évaluer par la presse à cisaillement giratoire ou en réalisant des éprouvettes Marshall à différents taux d'énergie de compactage par exemple.
- La limite inférieure des vides communicants prescrite dans la norme devrait se situer à 18 % voire au-dessus.
- Les résultats des mesures obtenus avec des perméamètres à écoulement gravitaire n'expriment pas de notion de débit qui soit fonction exclusive des caractéristiques de l'enrobé drainant. Il est donc nécessaire de préciser dans la norme quel appareil il convient d'utiliser. La sélection d'un instrument ayant les caractéristiques suivantes permettra d'assurer la meilleure corrélation entre les vides du matériau testé et les valeurs d'écoulement mesurées:
 - instrument équipé d'une couronne à sa base
 - joint en caoutchouc
 - charge définie et constante appliquée sur le joint

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- M. Bollie; Perméabilité des enrobés bitumineux; Eurobitume, La Haye, 1985
- M. Chavet; Bilan des expériences belges en matière d'enrobés drainants; Eurobitume, La Haye 1985
- M. Spillemaecker; Etude des propriétés des enrobés drainants; Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 654, 1988
- MM. Meunier, Groz, Jugon, France; RN 7; Entrée sud de Moulins; Les Enrobés drainants, une technique qui tient ses promesses; Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 654, 1988
- MM. Abache, Panebon; Dix ans d'enrobés drainants «administration» dans l'Ouest; Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 656, 1988
- M. Kosler; Jauge de percolation IVT, une proposition pour mesurer la perméabilité des revêtements drainants; Route et Trafic, n° 8, 1987
- MM. Decoene, Descornet; Les enrobés drainants, expériences et perspectives; Route et Trafic, n° 3, 1988
- MM. Huscheck, Rode, Schmidt; Béton bitumineux drainant; Expériences et perspectives en République fédérale d'Allemagne; Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 657, 1990
- MM. Cauvin, de Roeck, Le Bras, Nisoux, Delmon; Béton drainant à Paris, Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 675, 1990
- MM. Bally, Vecoven; Essais de perméabilité pour enrobés de couche de roulement; Eurobitume, La Haye, 1985
- MM. Beauvert, Favre, Huet, Verhee; L'expérience française des enrobés drainants; LCPC, 1989
- M. Parrat; Enrobés drainants (mesures d'absorption d'eau in situ) FAER 1.33.36.7, CETE; Laboratoire Régional d'Autun
- MM. Delanne, Lamalle; French, English, Spanish apparatus comparison of the hydraulic conductivity measurements on porous asphalt surface for the european standardization; LCPC. 1993