Le comportement au compactage des sols : caractérisation du tassement et conditions d'apparition

Gwendal Monnier, Jérôme Guerif, C. Cheverry

▶ **To cite this version:**

Gwendal Monnier, Jérôme Guerif, C. Cheverry. Le comportement au compactage des sols : caractérisation du tassement et conditions d'apparition. Fertilité et systèmes de production, INRA Editions, 1989, 2-7380-0070-3. hal-02858445

HAL Id: hal-02858445
https://hal.inrae.fr/hal-02858445

Submitted on 8 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Institut National
de la
Recherche Agronomique

Centre de Recherches d'AVIGNON
Station de Science du Sol

LE COMPORTEMENT AU COMPACTAGE DES SOLS : CARACTERISATION DU TASSEMENT ET CONDITIONS D'APPARITION

G. MONNIER[1], J. GUERIF[1], C. CHEVERRY[2]

1 - INTRODUCTION.

Deux des tendances les plus fréquemment relevées dans l'évolution actuelle de l'agriculture :

- simplification des systèmes de culture,
- recours à des matériels de traction, de traitement et de récolte plus puissants et plus lourds,

ont l'une et l'autre pour conséquence d'accroître l'importance du comportement des sols au compactage qu'il s'agisse du tassement "accidentel" ou des limites de traficabilité des terrains cultivés.

Dans le premier cas, la limitation des jours disponibles dans l'exploitation agricole, parfois couplée à la nature des cultures devenues prépondérantes (maïs grain ou maïs fourrage par exemple), accroît le risque de roulage dans des conditions d'humidité du sol excessive.

L'alourdissement du matériel de culture aggrave les conséquences de cette situation tant du point de vue des tassements involontaires que de celui de la traficabilité.

Ces difficultés, de plus en plus fortement ressenties par les agriculteurs, sont encore très insuffisamment analysées dans leurs causes et leurs conséquences agronomiques.

En nous limitant aux phénomènes de tassement, nous nous proposons d'examiner les résultats principaux de recherches récentes sur le comportement des sols au compactage.

Après avoir brièvement rappelé les techniques d'études au laboratoire disponibles et les principaux types de résultats que leur mise en oeuvre classique a permis d'obtenir, nous présenterons un ensemble de travaux visant à une caractérisation plus fine des phénomènes de tassement et de leurs conditions d'apparition, y compris les premiers résultats concernant le rôle des constituants organiques. Enfin, nous examinerons les problèmes posés par l'extension au terrain des données acquises dans les essais de laboratoire.

---

(1) Station de Science du Sol, C.R.A. d'AVIGNON, B.P. 91, 84140 MONTFAVET.

(2) E.N.S.A., RENNES.

p155 - 167.

2 - LES TECHNIQUES CLASSIQUES D'ETUDE ; RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS ACQUIS.

Les tests utilisés pour l'étude au laboratoire du comportement des sols au compactage consistent à appliquer sur un échantillon de sol placé dans un moule un effort, ou charge, connu et à mesurer la porosité, ou indice des vides, pour caractériser l'état de compacité résultant.

- Dans l'essai Proctor, il s'agit d'un compactage dynamique : l'énergie est appliquée par les chutes successives d'une dame. L'échantillon est nécessairement remanié et le moule est fermé, interdisant tout drainage. D'autre part, les contraintes développées en cours de compactage sont inconnues.

- Dans les essais oedométriques, le compactage est réalisé par application de pressions connues à un échantillon qui peut être naturel ou remanié. La cinétique du tassement est accessible et l'on a la possibilité de réaliser des essais avec consolidation.

Dans l'un et l'autre cas, la variable principale, classiquement prise en compte, est la teneur en eau du sol soumis au compactage. Pour un matériau donné, on obtient une courbe donnant la densité γ_d atteinte après compactage en fonction de l'humidité.

L'allure de ces courbes, telle celles présentées à la figure 1, obtenues par la technique Proctor, permet le plus souvent de distinguer trois gammes de teneur en eau W bornées par deux valeurs particulières W_p et W_m correspondant respectivement à un seuil de "sensibilité"(1) au compactage assimilé par **FAURE (1978)** à un seuil d'entrée en plasticité du matériau à l'énergie considérée et à l'obtention d'un maximum de densité γ_{dm} (optimum Proctor), l'échantillon étant alors saturé ou très proche de la saturation.

Les coordonnées (humidité, densité) de ces deux points particuliers des courbes de compactage dépendent fortement de la constitution du matériau pour une énergie donnée.

Par voie expérimentale et par l'étude statistique d'un échantillon de matériaux naturels soumis au compactage à l'énergie standard de l'essai Proctor, on a pu établir **(FAURE, 1978 ; GUERIF et FAURE, 1979)** que les deux seuils hydriques caractéristiques étaient des fonctions linéaires croissantes des teneurs en argile et en matières organiques totales ; il en est de même pour le volume massique minimum, correspondant à l'optimum Proctor.

Dans tous les cas, la part de variance expliquée à l'aide de ces deux seules variables atteint ou dépasse 70 %.

Enfin, il apparaît qu'une augmentation de l'énergie de compactage entraîne une augmentation de densité et une diminution d'humidité des points caractéristiques de la courbe de compactage.

3- AFFINEMENT DE LA CARACTERISATION DU TASSEMENT.

Les résultats cités, obtenus par l'essai Proctor, sont exprimés en ce qui concerne la compacité en une grandeur globale : la densité sèche ou encore son expression en porosité totale ou enindice des vides.

---

(1) Il s'agit, de façon générale, plutôt d'un seuil de changement de comportement au compactage ; on peut observer, en effet, un tassement important pour des humidités inférieures à ce seuil de "sensibilité" (cf. 3-1.).

Aussi, les teneurs en eau critiques ainsi obtenues sont elles surtout utilisables pour comparer des matériaux entre eux un peu comme le sont les limites d'Atterberg.

On a donc été amené à préciser l'analyse du résultat du compactage. Pour les raisons indiquées en 2 -, la technique retenue est le plus souvent l'oedométrie qui permet d'aborder certains aspects du compactage dont l'accès est plus difficile, voire impossible, en compactage dynamique.

3-1. Influence du compactage sur les principaux compartiments de l'espace poral.

La figure 2 illustre l'intérêt d'analyser en terme de systèmes de porosité les variations de compacité d'un sol que l'origine de la déformation soit une action climatique ou mécanique. A une teneur en eau donnée et pour des niveaux d'énergie rencontrés dans les conditions pratiques de culture, l'indice des vides textural peut, en première approximation, être considéré comme constant, l'accroissement de compacité provenant d'une diminution de l'espace poral structural. Par ailleurs, une telle analyse permet de tenir compte de l'état de gonflement du matériau, fonction de la teneur en eau.

Une première série de résultats dans ce domaine a été obtenue par **GRIMALDI (1981)** sur un matériau limoneux de la région de RENNES. La comparaison des courbes Proctor et de l'analyse de la porosité résultant du compactage en porosité inter et intragrégat établis à partir de différentes granulométries d'agrégats fait apparaître :

- la constance du seuil hydrique de "sensibilité",

- l'influence de la granulométrie initiale aux faibles humidités de compactage et sa diminution au-delà du seuil de "sensibilité" au fur et à mesure que l'humidité augmente.

- la part prépondérante, voire exclusive, prise dans l'augmentation de compacité par la diminution de l'espace poral interagrégats ; dans le cas traité, ce dernier s'annule ou devient négligeable au voisinage de l'optimum Proctor.

Ces résultats viennent confirmer ceux de **STENGEL et FAURE (1978)** obtenus sur un sol argileux à propriétés très différentes conférant ainsi aux conclusions portant sur la plus grande sensibilité au compactage de l'espace poral structural une portée plus générale.

On doit toutefois noter que le tassement au niveau des agrégats, s'il reste faible, n'est pas nécessairement nul et que les bilans en volume rapportés ici ne préjugent pas, comme nous le verrons, d'une modification éventuelle de la distribution dimensionnelle des pores texturaux.

*

*** ***

GUERIF (1982) a approfondi l'analyse du tassement structural par l'étude du comportement en oedométrie d'un massif d'agrégats. Pour que l'espace poral structural soit seul affecté, les essais ont porté sur un sol suffisamment argileux pour que son espace poral textural ne soit pas modifié par le compactage dans la gamme des pressions (0-10 bar) et des humidités utilisées.

La technique choisie a permis de partir d'un indice des vides structural e_o^s unique quel que soit l'état d'humidité et donc de gonflement du matériau et de considérer deux temps d'application de la charge (1 mn et 4 h).

Dans les coordonnées e^s - W (fig. 3), à l'équilibre (t = 4 h) et sous charges, les courbes de compression ont l'allure de tridroites paramétrées par la charge définissant deux seuils hydriques de comportement (W_1 et W_2) et un point d'arrêt (W_3 intersection de la courbe de compression et de l'axe des abscisses).

- $W < W_1$. L'amplitude du tassement ($e_o^s - e^s$) relativement faible, est fonction de la charge appliquée, mais elle est indépendante de la teneur en eau du massif et du temps d'application, la déformation pouvant être considérée comme instantanée. Dans cette gamme de teneur en eau, le tassement résulterait d'un réarrangement modéré, sans rupture, d'agrégats à comportement de pseudosables ; le mécanisme étant en grande partie déterminé par l'angle de frottement interagrégats.

- $W_1 < W < W_2$. L'amplitude du tassement devient dépendante de la teneur en eau mais reste indépendante du temps d'application de la charge. Les valeurs seuils W_2, dont tout laisse penser qu'elles correspondent au seuil de "sensibilité" W_p défini par **FAURE** sont fonction de la charge. Le tassement proviendrait ici d'une rupture dite "fragile" des agrégats dont la cohésion est devenue plus faible que les contraintes qu'ils subissent, suivie d'un réarrangement régi par le frottement interfragments.

- $W_2 < W < W_3$. L'amplitude de la déformation, plus fortement encore liée à la teneur en eau, devient dépendante du temps d'application de la charge : le comportement des agrégats sous charge est alors viscoélastique. Lors de la compression, l'angle de frottement interne du massif serait une combinaison entre les angles de frottement inter et intraagrégats, la cohésion des agrégats déterminant en partie le niveau de la déformation. A W_3 le massif est saturé et se trouve à son maximum de compacité pour la charge appliquée.

Ce travail qui porte aussi bien sur des phénomènes de tassement recherchés par l'agriculteur -domaine de rupture fragile et(où) de réarrangement- ou subis, et qui prend en compte des paramètres de grande importance pratique telle que l'intensité de la charge et la durée de son application, amorce de plus un type d'interprétation du comportement au compactage de milieux fragmentaires qui devrait pouvoir être généralisé à d'autres types de matériaux,

- d'une part en reliant les caractéristiques mécaniques intrinsèques au niveau textural à des variables de constitution minérale et organique.

- d'autre part en reliant les comportements mécaniques et les variables qui les décrivent au potentiel de l'eau dans le matériau en cours de compression.

3-2. Modification par le compactage des caractéristiques de l'espace poral au niveau textural.

La faible ampleur, voire l'inexistance, des variations de volume enregistrées au niveau textural à la suite de compactage peuvent masquer des déformations de l'espace poral susceptibles de modifier son fonctionnement hydrique. C'est ainsi que **GRIMALDI (1981)** a constaté dans une gamme de pression de succion correspondant à des pF de 1,5 à 4,2 une modification de la relation potentiel-teneur en eau liée au compactage et à ses conditions et aux contraintes d'ordre hydrique subies par le matériau (dessiccation).

Nous nous bornerons ici, sans revenir sur le détail de résultats publiés par ailleurs, à présenter brièvement les principales conclusions de deux séries de recherches conduites à l'aide de la porosimétrie à mercure.

Sur le matériau limoneux cité plus haut, **GRIMALDI (1981)** met en évidence sur des mottes lyophilisées résultant d'un compactage Proctor à différentes humidités suivi de différents régimes de dessiccation, des différences dans la distribution dimensionnelle de l'espace poral par rapport à ce qu'elle est sur des agrégats pris avant compactage. La gamme des diamètres équivalents des seuils d'intrusion affectés suggère que la déformation ne porte pas sur le reliquat éventuel de pores interagrégats mais sur l'assemblage au niveau des particules élémentaires et singulièrement sur des diamètres correspondant à la dimension des pores lacunaires d'assemblage mis en évidence par **FIES (1978)**. **GRIMALDI** observe une forte interaction des modalités de compactage et du régime hydrique ultérieur sur les modifications des caractéristiques de l'espace poral et relève leur cohérence avec les conséquences citées plus haut sur les relations potentiel-teneur en eau.

*

*** ***

FIES et ZIMMER (1982) ont abordé ce même problème dans des conditions expérimentales très différentes :

- choix d'un matériau sablo argileux à fort tassement textural,
- absence de porosité structurale initiale,
- compactage oedométrique à différentes pressions atteignant 10 bar et dans des conditions hydriques initiales permettant de provoquer ou non la consolidation du massif à partir d'une valeur équivalente du volume massique.

En ce qui concerne les bilans de volume, on observe un tassement textural élevé de l'ordre de 15 % au maximum à 10 bar et équivalent pour l'échantillon consolidé (situation initiale au point d'entrée d'air pF 2,1) et pour l'échantillon resté dans le domaine non saturé (situation initiale sur la droite de retrait, pF 3). Toutefois, dans le premier cas, le maximum de compacité semble déjà atteint pour des pressions appliquées très inférieures à 10 bar.

En l'absence de retrait à la dessiccation sur les échantillons compactés ou non, la porosimétrie à mercure a été pratiquée, avant et après compactage à 10 bar, sur des échantillons séchés. Dans ces conditions, il apparaît que le compactage diminue très significativement le volume initial de pores lacunaires qui correspond à des seuils d'intrusion dans la gamme de 300 à 0,1 µm pour la texture considérée. Le compactage en saturé au niveau textural (pF 2,1) ne modifie pas la valeur modale des seuils d'intrusion lacunaire, alors que le compactage en non saturé fait passer cette valeur de 30-35 à 25-30 µm. L'espace poral propre à la phase argileuse n'est dans aucun des cas affecté par le compactage.

Enfin, l'équivalence des volumes de lacune obtenus soit par bilan de volume massique à partir du modèle d'enrobage proposé par **FIES (1971)**, soit par évaluation des volumes de mercure intrudés, outre qu'elle apporte un élément en faveur de la validité de ce modèle, fait apparaître une interconnexion complète du système lacunaire, qui persiste après compactage.

Ces deux premiers ensembles de données dans un domaine encore peu exploré soulignent la réalité complexe des déformations à des niveaux d'assemblage microscopiques susceptibles d'être entrainées par le compactage. Elles posent une série de questions encore insuffisamment abordées portant sur les diverses conséquences, le degré et les conditions de reversibilité de telles déformations et enfin sur les moyens de généraliser de tels résultats obtenus jusqu'ici sans qu'ait pu être élaboré un modèle explicatif rendant compte de la diversité des comportements constatés.

4 - INFLUENCE DU STATUT ORGANIQUE SUR LE COMPORTEMENT DES SOLS AU COMPACTAGE.

Cette question est essentielle pour l'évaluation des conséquences sur la fertilité physique du système de culture pratiqué ; les recherches très récentes et encore très fragmentaires permettent toutefois -bien qu'elles cumulent les difficultés précédentes liées au phénomène de tassement lui-même et celles qui découlent de la complexité de la nature et du mode d'action des constituants organiques- de dégager quelques premières indications.

Considérées de façon globale, les matières organiques déplacent, on l'a vu (cf. § 2), le seuil de sensibilité au compactage vers les plus fortes humidités et abaissent le niveau maximum de compacité.

Comparant le comportement à deux niveaux de charge (1 et 4 bar) d'échantillons à statut organique différents en raison des techniques culturales pratiquées et de leur localisation dans le profil, **GUERIF (1983)** confirme ce dernier résultat (fig. 4) et montre qu'il est d'autant plus marqué que la pression appliquée est plus faible.

Tel quel, exprimé en données très globales (densité et teneur en carbone total), ce résultat indicatif recouvre des mécanismes très divers dont l'analyse est indispensable à tout objectif de généralisation.

Un tel travail a été réalisé par voie expérimentale dans le cas des matières organiques libres **(MONNIER et al., 1962)**. Il apparaît **(GUERIF, 1979a)** que les débris végétaux frais ou en début de décomposition agissent sur le comportement au compactage par leur aptitude à recouvrer une part de leur volume ou de leur forme initiale, après déformation, lorsque la charge est supprimée.

Ce comportement pseudoélastique est lié à la nature de la fraction libre, à son état de division et d'évolution, à sa localisation dans l'organisation structurale du matériau et aux interactions entre ces propriétés mécaniques propres et celles du matériau minéral auquel elle est associée.

Dans le cas d'un mélange artificiel paille-sol, **GUERIF (1979b)** a précisé certains de ces points :

- la pseudoélasticité des pailles diminue quand leur structure est dégradée ; elle est plus affectée quand la dégradation est d'origine biologique (biodégradation) que lorsqu'elle est mécanique (fragmentation).

- la part de l'espace poral induit par la présence des fragments de paille est d'autant plus importante qu'ils sont plus intimement incorporés à l'assemblage des constituants minéraux. Ce volume poral supplémentaire est proportionnel à la teneur en paille. La pression nécessaire à sa suppression suit la même loi.

On dispose de beaucoup moins d'information sur les mécanismes d'action des matières organiques liées ; il ressort des quelques références disponibles obtenues sur matières organiques modèles que c'est en modifiant les propriétés d'hydratation du matériau que ce type de constituant modifie ses propriétés rhéologiques. On conçoit alors que l'approfondissement de telles recherches soit subordonné à une meilleure connaissance du comportement dans ce domaine de la matrice minérale.

5 - TENTATIVES D'ETUDE DU COMPORTEMENT IN SITU.

Les recherches rapportées ci-dessus ont toutes en commun de porter sur des essais de laboratoire. Si elles fournissent des références et des éléments plus explicatifs sur le comportement au compactage de matériaux indispensables à la compréhension et à la prévision des comportements du sol in situ, ceux-ci exigent que soient pris en compte d'autres phénomènes et d'autres caractéristiques :

- Tout d'abord contrairement à ce qui se passe dans les essais de laboratoire les volumes de sols subissant des pressions in situ ne sont pas strictement frettés ; on peut alors assister à des phénomènes de fluage latéral.

- Le sol en place est surtout dans les couches de surface fortement anisotrope : des gradients très intenses de teneur en eau, la superposition de couches peu épaisses présentant des états structuraux très différenciés.

Cette complexité accrue rend nécessaire l'évaluation des interactions entre couches à propriétés mécaniques très différentes et leur prise en compte dans les schémas descriptifs et(ou) explicatifs recherchés.

Un préalable **(DURAND, 1982 cité par CHEVERRY, 1983)** a consisté à concevoir et à mettre en oeuvre un appareillage permettant d'appliquer au sol en place un niveau donné de pression maintenu constant à chaque incrément de compactage. Les déformations de surface et les tassements résultant étant évalués respectivement par aspérimétrie et densimétrie γ de transmission.

Le travail a porté sur l'influence de l'anisotropie structurale résultant de la mise en oeuvre de différentes techniques de travail du sol. Dans l'exemple qui fait l'objet de la figure 5, le profil initial, schématisé par le profil des masses volumiques avant compactage (0 bar), résulte d'un travail superficiel à la houe rotative affectant une dizaine de centimètres d'épaisseur ; cette technique a été substituée, une dizaine d'années avant les essais de compactage, à un labour d'une profondeur de 27 cm. Les profils de masses volumiques, établis avec un pas de profondeur de 3 cm avant et après application de pressions croissantes de 2 à 8 bar, ont permis une réduction du système à 3 couches à comportement différencié :

La couche A (0-10 cm) actuellement travaillée, initialement très poreuse, voit son indice des vides total décroître fortement, mais moins que proportionnellement à la pression appliquée jusqu'à 6 bar, le passage à 8 bar entrainant un accroissement marqué de compacité.

Dans le même temps, la couche B (10-27 cm) correspondant à la partie inférieure de l'ancien labour non remaniée depuis plus de 10 ans et initialement compacte n'est pas affectée jusqu'au seuil de 4 bar, au-delà duquel son indice des vides décroît, de façon modérée.

Quant à la couche C située au-dessous de l'ancien fond de labour de compacité initiale intermédiaire, elle conserve le même état jusqu'à 6 bar ; elle est par contre très fortement tassée lors du passage à 8 bar.

Il apparaît :

- que les couches sont affectées par le compactage de façon différente selon leurs caractéristiques propres (état initial hydrique et surtout structural) et leur place (profondeur dans le profil),

- qu'une forte interaction se manifeste entre les déformations subies par les couches, chacune d'entre elle se comportant pour la couche susjacente comme un plancher plus ou moins déformable selon son état de compacité propre celui de sa ou ses voisines et le niveau de pression appliqué.

Même s'il est évident qu'un tel modèle doit être affiné en tenant compte notamment de la répartition effective des contraintes et du fluage non pris en compte ici, on voit le parti qu'on peut espérer tirer d'une telle démarche en tentant de ramener l'ensemble des cas possibles de profils de sol cultivés à un nombre limité de cas types pour lesquels on pourrait prévoir des scénarios de comportement.

6 - CONCLUSION.

Les principales recherches sur lesquelles il vient d'être fait un point rapide et réduit à l'essentiel par rapport à l'objet qui nous occupe dans cet ouvrage traduisent une double orientation perceptible au cours des toutes dernières années.

En effet, à partir des données initialement disponibles, le plus souvent exprimées en grandeurs globales reliées entre elles par des relations empiriques, on a pu constater :

- un affinement de la caractérisation des phénomènes de tassement et une analyse plus large de leurs mécanismes et conditions d'apparition préparant ainsi le chemin à une plus large généralisation des résultats.

- parallèlement à ces recherches à caractère analytique, une orientation plus synthétique vers les problèmes posés par le passage du matériau au terrain.

Dans l'une et l'autre direction, on a pu constater des progrès significatifs au cours de la période la plus récente et percevoir les voies à suivre pour ces prochaines étapes.

Resitué par rapport à l'analyse et au diagnostic de la fertilité, on peut considérer que ces recherches ont apporté :

- des moyens méthodologiques assortis de références et de premiers éléments d'interprétation permettant le classement de matériaux quant à leur comportement au compactage.

- la prise en compte de l'intensité et des conditions d'application des charges responsables des tassements.

- Par contre, l'action des matières organiques au centre des relations fertilité physique-systèmes de culture n'a pu être abordée que de façon fragmentaire. La poursuite de recherche dans cette direction est doublement liée

à des progrès dans les connaissances sur le statut organique des sols et l'évolution de ses différents compartiments et à une analyse plus fondamentale des relations entre le comportement hydrique du matériau et ses propriétés rhéologiques.

- Le problème essentiel par rapport aux dérives éventuelles de fertilité de type cumulatif- de la réversibilité des tassement a reçu de tous premiers éléments de réponse. C'est certainement là un des axes les plus importants à développer.

- L'étude du comportement au compactage sur ce terrain abordée de façon réaliste devrait également être poursuivie si l'on souhaite déboucher sur les problèmes concrets de conséquences des tassements, de choix des techniques et matériels permettant de les limiter et plus largement de détermination des jours mécaniquement disponibles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHEVERRY C., 1983 - Le tassement et la portance des sols en rotations céréalières intensives.
C.R. Journées d'études "Rotations céréalières intensives" ONIC, PARIS.

DURAND H., 1982 - Comportement au compactage d'une couche de sol cultivée : influence de la profondeur de travail.
Mémoire fin d'Etudes ENITA Dijon, 33 p., INRA Science du Sol AVIGNON.

FAURE A., 1978 - Comportement des sols au compactage : rôle de l'argile et conséquences sur l'arrangement des grains.
Thèse Doc es Sc., GRENOBLE, 179 p.

FIES J.C., 1971 - Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols.
Ann. agron., 22(6), 655-685.

FIES J.C., 1978 - Porosité du sol : étude de son origine texturale.
Thèse Doc. es Sc., STRASBOURG, 139 p.

FIES J.C., ZIMMER D., 1982 - Etude expérimentale de modification de l'assemblage textural d'un matériau sablo argileux sous l'effet de pressions.
Bull. G.F.H.N. n° 12, 39-54.

GRIMALDI M., 1981 - Contribution à l'étude du tassement des sols : évolution de la structure d'un matériau limoneux soumis à des contraintes mécaniques et hydriques.
Thèse Doc Ing., ENSA RENNES, 221 p.

GUERIF J., 1979a - Rôle de la matière organique sur le comportement d'un sol au compactage : Matières organiques libres et liées.
Ann. agron., 30(6), 469-480.

GUERIF J., 1979b - Mechanical properties of straw ; the effect on the soil.
in "Straw decay" Proc. Symp. Hatfield Polytechnic, John Wiley edit., New York.

GUERIF J., FAURE A., 1979 - Rôle de la matière organique sur le comportement des sols au compactage. I- Etude statistique.
Ann. agron., 30(5), 387-399.

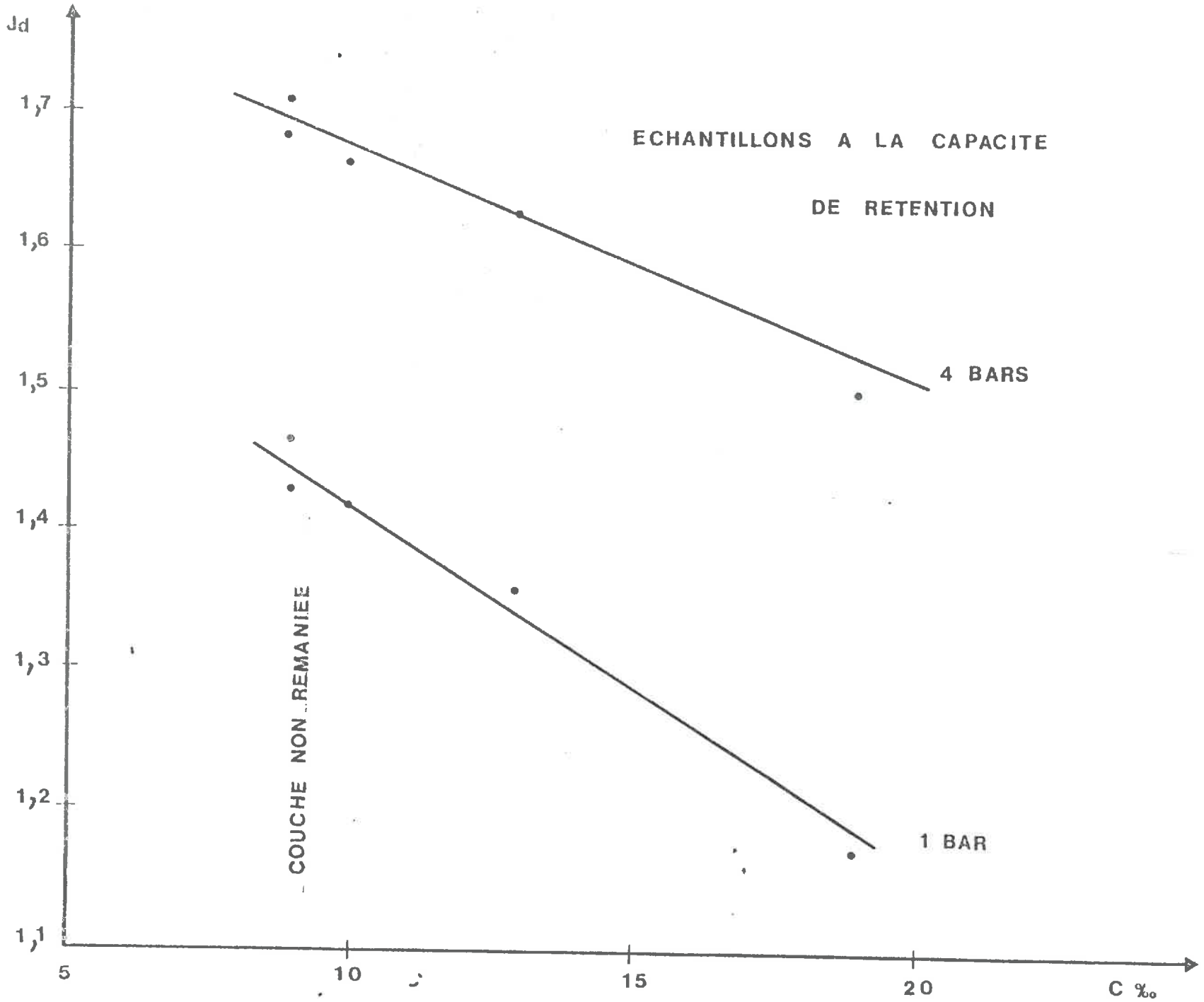
GUERIF J., 1982 - Compactage d'un massif d'agrégats : effet de la teneur en eau et de la pression appliquée.
Agronomie 2(3), 287-294.

GUERIF J., 1983 - Modification de la répartition et de l'évolution des matières organiques par la simplification du travail du sol : conséquences sur quelques propriétés physiques.
C.R. Journées d'études "Rotations céréalières intensives", ONIC, PARIS.

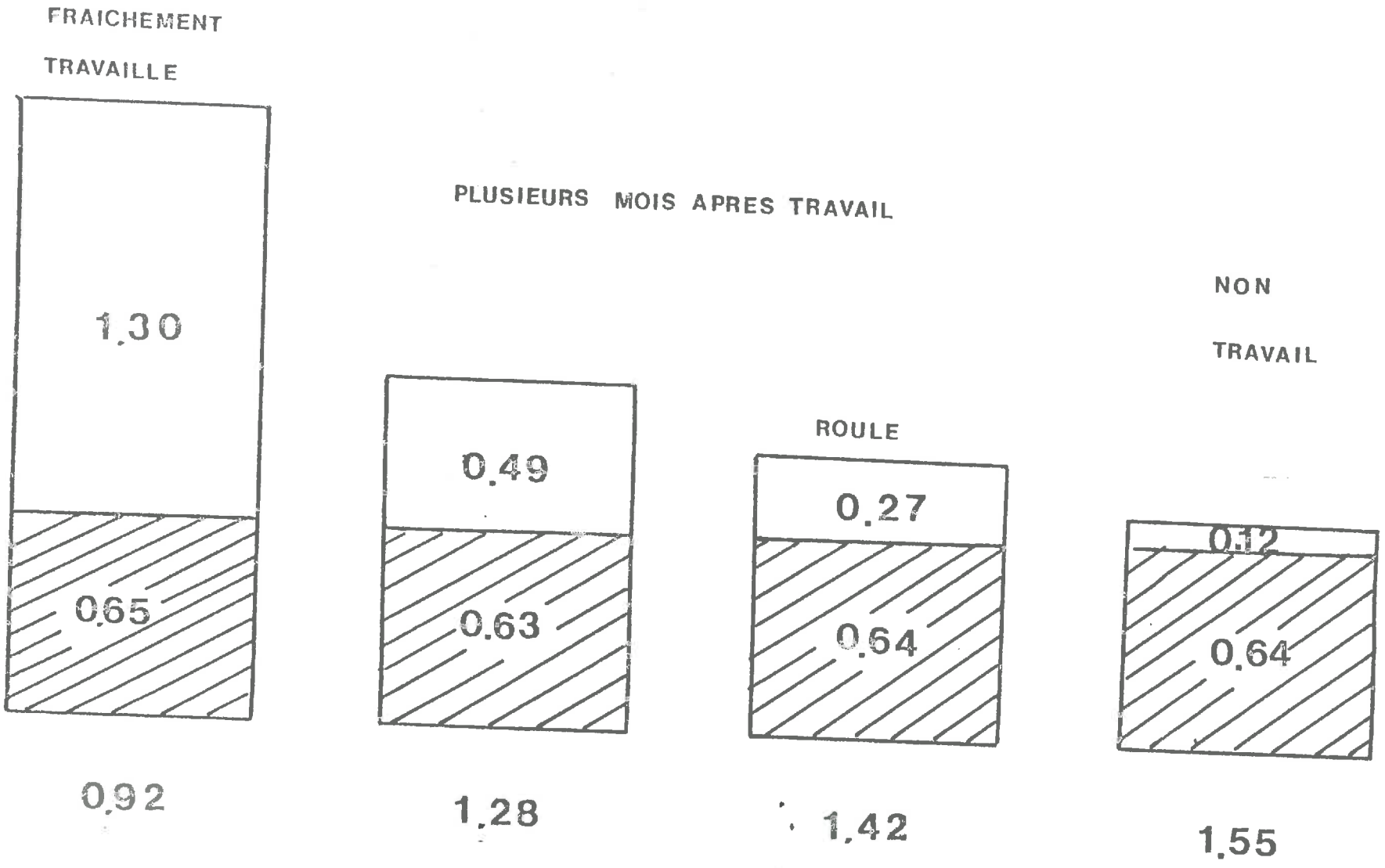
MONNIER G., TURC L. et JEANSON C., 1962 - Une méthode de fractionnement densimétrique des matières organiques du sol.
Ann. agron., 13(1), 55-63.

STENGEL P., FAURE A., 1978 - Comportement mécanique d'un sol argileux soumis au roulage d'engins agricoles.
C.R. Acad. Agric. Fr., 11 Janvier 1978, 119-124.

STENGEL P., 1979 - Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol.
Ann. agron., 30(1), 27-51.



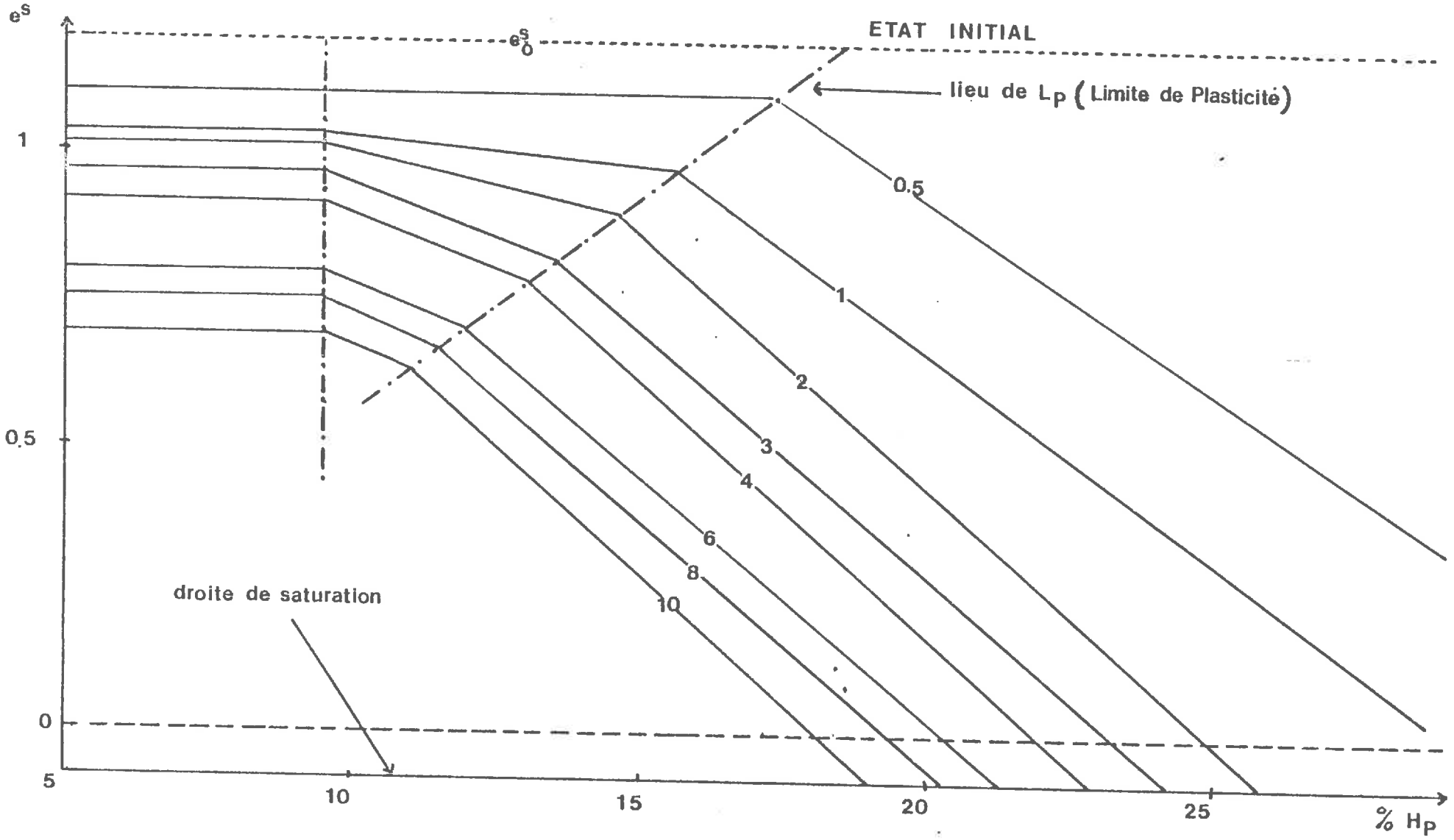
EFFET DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LE COMPORTEMENT AU COMPACTAGE

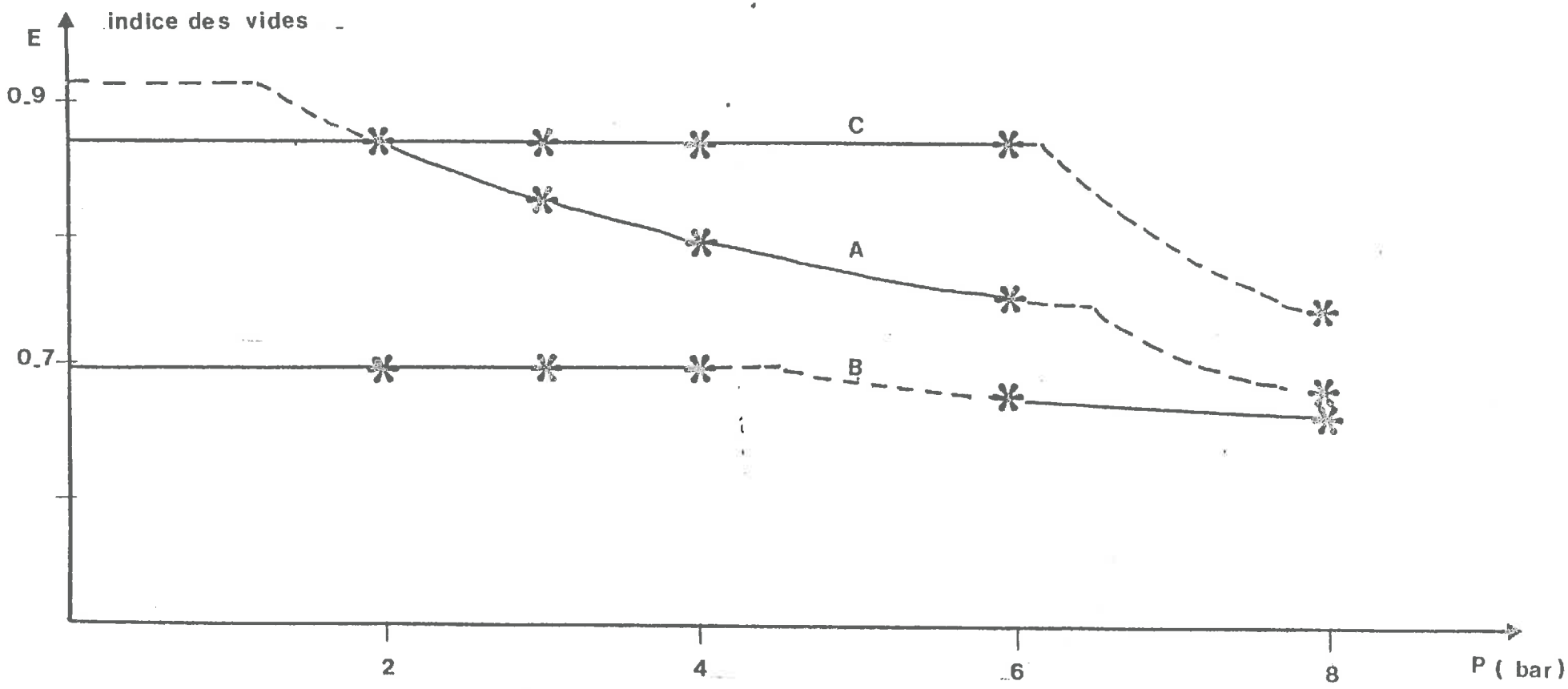

FRAICHEMENT
TRAVAILLE
1.30
0.65
0.92
PLUSIEURS MOIS APRES TRAVAIL
0.49
0.63
1.28
ROULE
0.27
0.64
1.42
NON
TRAVAIL
0.12
0.64
1.55

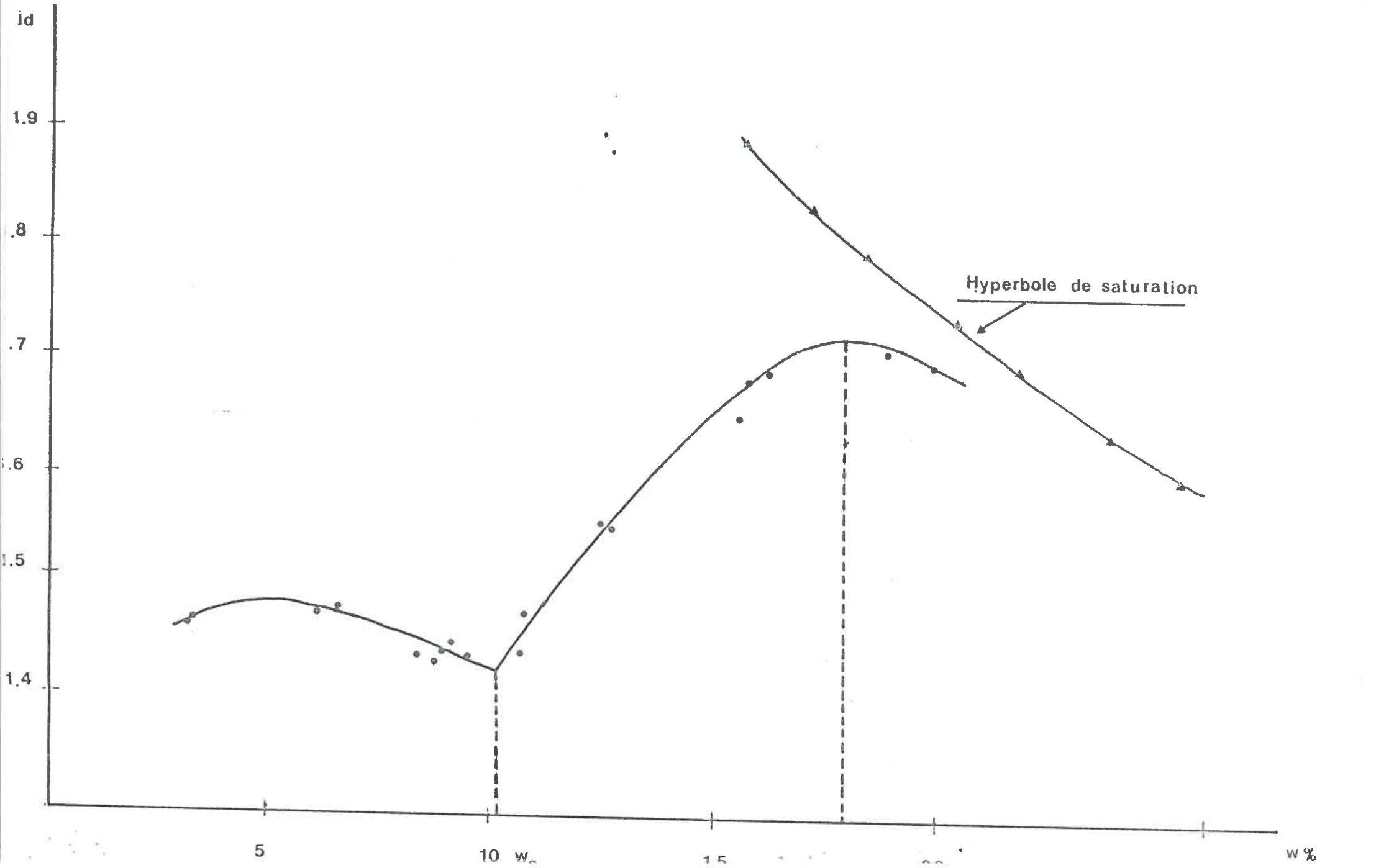
TECHNIQUE DE COMPACTAGE ŒDOMETRIQUE

variations de l'indice des vides structural (e^S) en fonction de la teneur en eau (H_P) :

effet de l'intensité de la charge (0.5 à 10 bars)




E
indice des vides
0.9
0.7
C
A
B
2
4
6
8
P (bar)


id
1.9
.8
.7
.6
1.5
1.4
Hyperbole de saturation
5
10
w %