

LA DETERMINAZIONE PER DISTILLAZIONE DEL CONTENUTO D'ACQUA NELLE TERRE

R. BUCCHI (*)

SOMMARIO: Si analizza sperimentalmente e teoricamente il processo di estrazione dell'acqua dalle terre in corrente di vapore di xilene allo scopo di determinarne il contenuto in acqua e si confrontano i risultati ottenuti con questo metodo a quelli ottenuti col metodo classico di essiccazione.

1 - Introduzione

La determinazione del contenuto d'acqua dei terreni è un problema che si pone molto spesso e nei cantieri e nei laboratori. Questo problema assume un notevole interesse pratico soprattutto nel caso in cui il terreno costituisce un materiale da costruzione, sia sotto forma proprio di terreno per costruzione di rilevati, dighe, sottofondi od opere stradali in genere, o nel caso di stabilizzazione a mezzo miscelazione di terreno e cemento, o, caso particolare, sotto forma di sabbia per formare malte e calcestruzzi.

Fra le principali prove, che vengono effettuate in cantiere per controllare l'operazione di costipamento di un terreno, vi sono quelle basate sulla densità ed umidità del terreno lavorato. Di queste la determinazione del contenuto in acqua è la prova più delicata, più facilmente soggetta ad errori di varia natura e che generalmente richiede la maggior perdita di tempo.

E' ovvio che in genere un cantiere potrà disporre in loco di un laboratorio dotato di un'attrezzatura molto limitata o addirittura ne sarà sprovvisto. Per di più è necessario poter conoscere i risultati delle prove nel più breve tempo possibile.

A tal uopo vengono adottati nella pratica vari sistemi più o meno precisi per la determinazione rapida del contenuto in acqua nei terreni a mezzo di apparecchi che si basano su differenti principi, la cui descrizione si può facilmente trovare nella letteratura tecnica.

Nel presente studio si è voluto esaminare le possibilità della determinazione del contenuto in acqua delle terre per mezzo della distillazione. Il metodo richiede, come si vedrà più avanti, di un'apparecchiatura abbastanza semplice, ed il tempo necessario per eseguire una prova è minore di un'ora.

Sono state eseguite serie di prove su diversi tipi di terreni a diversi tenori d'acqua, si è seguito e analizzato il processo della distillazione, e si sono raffrontati i risultati così ottenuti a quelli ottenuti col metodo classico per essiccazione.

(*) Dott. Ing. Renato BUCCHI, Assistente di ruolo nell'Istituto di Costruzioni, Ponti e Strade dell'Università di Padova.

2 - Definizione del contenuto in acqua

Prima di esaminare il metodo per la determinazione del contenuto in acqua è necessario vedere sotto quale forma l'acqua possa trovarsi nelle terre e definire esattamente ciò che si vuole determinare.

L'acqua nelle terre si può trovare in tre stati che possiamo schematizzare nel modo seguente.

1) *Acqua di impasto.* Questa comprende l'acqua di falda e l'acqua capillare. L'acqua di falda si trova ad una pressione che dipende dal carico idrostatico, l'acqua capillare invece si trova a pressione inferiore di quella atmosferica e sale nei pori della terra per effetto della tensione superficiale.

2) *Acqua igroscopica o di adsorbimento ed acqua di idratazione degli strati elementari del reticolo cristallino delle argille.* L'acqua di adsorbimento avvolge i granuli di terra in sottilissimo velo ed è fissata superficialmente per effetto delle forze elettrostatiche dei granuli stessi di terra. Le argille, pur presentando sotto certi aspetti proprietà colloidali per la grande estensione della superficie dei granuli rispetto alla massa, all'esame roentgenografico dimostrano di possedere un reticolo cristallino. Questo reticolo ha una disposizione a strati ed ha la possibilità di fissare internamente fra gli strati stessi una quantità di acqua che in certi tipi di argille può essere anche notevole.

3) *Acqua di costituzione.* E' la più intimamente legata alla terra e vi si trova sotto forma di composti chimici con altre sostanze.

Dato la diversa forma sotto cui l'acqua si può venire a trovare nelle terre, la quantità d'acqua che può evaporare sarà, a parità di altre condizioni, funzione della temperatura. Questa funzione è resa manifesta dalle curve di disidratazione, che sono tracciate in un diagramma avente per ascisse le temperature e per ordinate il contenuto in acqua progressivo determinato alla corrispondente temperatura. In Fig. 1 è riportata la curva di disidratazione per un terreno argilloso.

E' interessante analizzare l'andamento di questa curva e riconoscere quale tipo di acqua viene eliminata alle varie temperature.

Dapprima si elimina, fino ai 100°, l'acqua di impasto, e ciò corrisponde al primo tratto, di notevole

pendenza, della curva di disidratazione. Segue la eliminazione dell'acqua di adsorbimento e dell'acqua di idratazione degli strati elementari del reticolo cristallino argilloso, che trova corrispondenza nel lieve aumento progressivo della curva. Ad un certo punto, intorno ai 500°, la curva presenta un salto piuttosto brusco: è a quella temperatura che scompare anche l'acqua di costituzione. Si ha cioè una disidratazione dei minerali argillosi e quella temperatura dipende appunto dai tipi di minerali che compongono il terreno in esame.

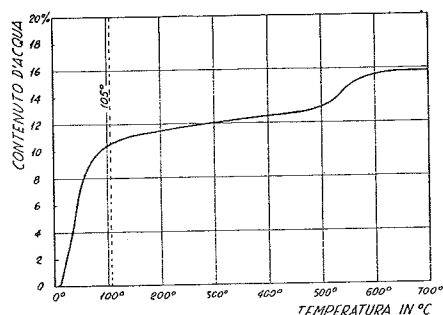


Fig. 1

Nel caso di un terreno sabbioso la curva di disidratazione rivela che la sabbia perde praticamente tutta la sua acqua sotto i 100° ed anzi a temperatura bassa.

La determinazione del contenuto in acqua richiede in definitiva una precisazione riguardo ciò che concerne la temperatura e la durata dell'essiccazione. Nella meccanica delle terre si è pertanto convenuto di determinare la quantità d'acqua a mezzo di essiccazione in stufa aereata per la durata di 24 ore alla temperatura di 105° e si definisce come contenuto in acqua il rapporto, espresso in %, fra il peso della acqua così determinata ed il peso del residuo secco.

Si dovrà quindi eseguire una determinazione iniziale del peso P del campione; si effettuerà l'essiccazione secondo le modalità suddette ed in fine dopo aver raffreddato in un essiccatore il campione se ne determinerà il nuovo peso P_s . Secondo la definizione il contenuto in acqua sarà dato dalla formula:

$$a = \frac{P - P_s}{P_s} \cdot 100\%$$

Questo metodo per un cantiere presenta notevoli difficoltà, sia per la durata dell'essiccazione, sia per il controllo della temperatura. In ogni caso l'inconveniente maggiore è che si possono conoscere i risultati della prova solo dopo 24 ore, mentre in pratica per eseguire una compattazione in condizioni di ottimo tenore d'acqua o per confezionare un calcestruzzo è necessario poter controllare la quantità d'acqua presente nei materiali impiegati al momento della messa in opera, e cioè entro un tempo molto breve.

Il metodo per essiccazione è il metodo classico che viene impiegato in tutti i laboratori. Con i valori da esso ottenuti saranno confrontati i risultati ottenuti col metodo per distillazione analizzato nelle pagine seguenti.

3 - Metodo per distillazione

Questo metodo si basa sulla distillazione dell'acqua insieme ad un altro liquido non miscibile con essa. E' stato usato a questo proposito lo xilene. Dopo distillati l'acqua e lo xilene vengono condensati e raccolti in un decantatore graduato. Non essendo miscibili ed avendo l'acqua peso specifico maggiore dello xilene, questa si raccoglie inferiormente ed è possibile leggere, per mezzo della graduazione, direttamente il suo volume.

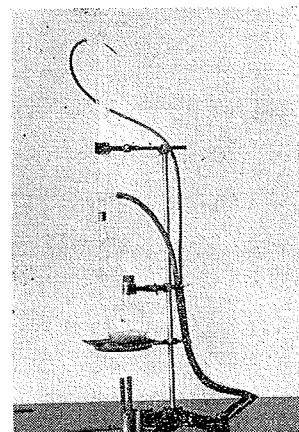


Fig. 2

L'apparecchio di distillazione (Fig. 2) è costituito da un palloncino di vetro, da un condensatore, costituito da due tubi di vetro concentrici fra i quali circola acqua fresca, e dal decantatore, un tubetto di vetro graduato posto sotto il condensatore sulla stessa verticale. Quando lo xilene nel decantatore supera un certo livello ritorna, attraverso il tubo di collegamento, nel palloncino di distillazione. Si ha così per lo xilene un ciclo chiuso ed il suo consumo durante le prove è praticamente trascurabile. Per riscaldare il palloncino di distillazione è stato usato un becco Bunsen. Può essere altresì impiegato un fornello elettrico e rinchiudere il palloncino entro un apposito cilindro isolante onde accelerare il riscaldamento (Fig. 3).

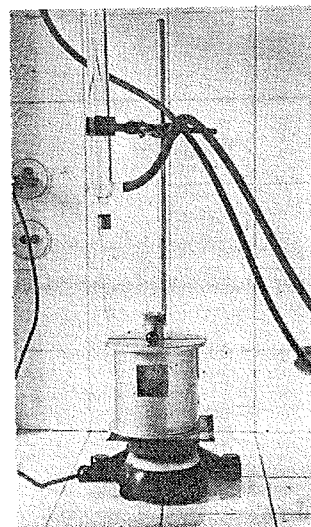


Fig. 3

La prova si esegue nel modo seguente. Si pesa preventivamente il palloncino di vetro, vi si introduce il campione di terra in esame e si esegue una seconda pesata. La differenza dei due valori ottenuti fornisce il peso P_u della terra umida. Nel prelevare il campione, si dovrà tenere conto, con previsione molto approssimativa, del suo contenuto in acqua, affinché l'acqua che verrà estratta non superi il volume del decantatore.

Si introduce nel palloncino una certa quantità di xilene in modo che copra il campione di terra. Si monta l'apparecchio e si inizia il riscaldamento. Dopo pochi minuti l'acqua e lo xilene cominceranno a condensare nel tubetto graduato. Affinchè si possa leggere esattamente il livello a cui arriva l'acqua ed impedire che essa resti attaccata alle pareti di vetro del tubetto, queste devono essere ben pulite. Si dovrà quindi preventivamente pulire il tubetto con una soluzione di acido solforico e bicromato di potassio ed assicurarsi poi che sia ben asciutto prima dell'impiego.

Dalla lettura del volume di acqua condensata nel tubetto graduato si risale subito al suo peso P_a . Si dovrebbe tener conto della temperatura alla quale si trova l'acqua nel decantatore e del suo coefficiente di dilatazione, ma l'influenza dell'aumento di volume dovuto alla temperatura dell'acqua condensata è praticamente trascurabile. Il contenuto in acqua della terra in esame, secondo la definizione data precedentemente, si otterrà con la:

$$a = \frac{P_a}{P_u - P_a} 100\%$$

E' interessante seguire il processo di distillazione a mezzo di curve tracciate in un diagramma avente per ascisse il tempo e per ordinate il contenuto in acqua determinato progressivamente con il decantatore. Nella Fig. 4 è tracciata una curva di distillazione ottenuta con un terreno argilloso. La distanza dall'origine delle ascisse all'inizio della curva è il tempo che intercorre dal momento che si pone la fiamma sotto il palloncino di distillazione al momento in cui incomincia a condensarsi acqua.

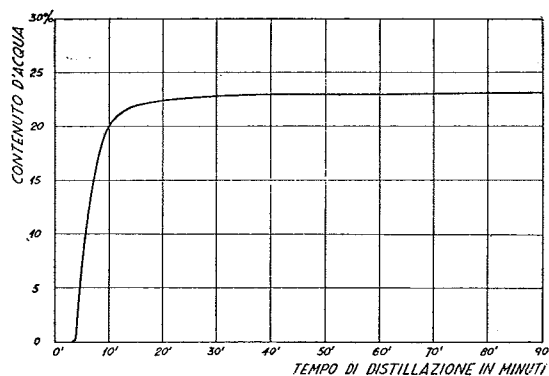


Fig. 4

La curva di distillazione inizia, raccordata appena percettibilmente all'asse delle ascisse, con un primo braccio di notevole pendenza avente una curvatura

appena accennata, tanto che per un primo tratto si può considerare praticamente rettilineo. Questo primo braccio è raccordato con un altro costituito da una curva che tende asintoticamente ad una retta orizzontale.

Ovviamente il primo tratto della curva corrisponde all'estrazione dell'acqua libera e via via che la pendenza diminuisce si ha l'estrazione dell'acqua più saldamente legata alla terra.

L'andamento di queste curve dipende per un certo materiale da molti fattori e precisamente: dal contenuto in acqua, dalla costituzione fisica del terreno, dall'intensità della fiamma, dalla quantità di xilene e di terra. Inoltre si considera costante la pressione atmosferica, la temperatura ambiente e la temperatura iniziale della terra e dello xilene.

Nella Fig. 5 è riportata una serie di curve di distillazione ottenute per uno stesso terreno con contenuti in acqua differenti ed a parità di tutte le altre condizioni sopra enunciate.

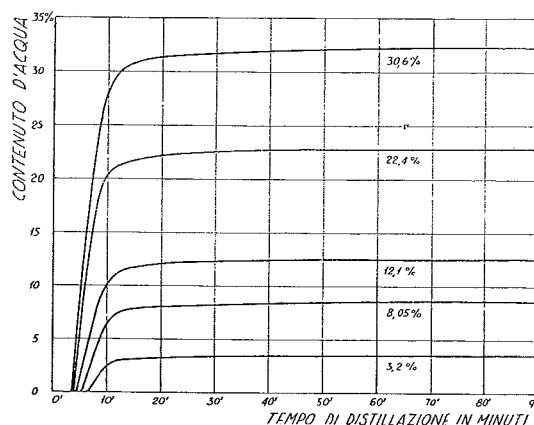


Fig. 5

E' da notare che per diversa natura del terreno (argilloso, sabbioso, linoso, o torboso) le curve di distillazione hanno andamento simile tra loro.

Vediamo ora di analizzare come influiscono nella distillazione i vari fattori sopra elencati.

a) Come appare chiaro dalla Fig. 5 (curve relative ad argilla grigia di Padova) il contenuto in acqua fa variare ovviamente l'ampiezza delle curve di distillazione ed anche l'inizio della condensazione della acqua.

b) Per costituzione fisica si intende specificare se la terra è sciolta e sbriciolata oppure più o meno agglomerata. Non sempre, specie con terreni argillosi, si può ottenere una buona miscelazione della terra-acqua collo xilene, ma spesso la terra nel palloncino di distillazione si trova in granuli coerenti più o meno grossi. In questo caso l'acqua si deve propagare dal centro del granulo non ancora disidratato alla superficie dove avviene la disidratazione, per cui con grani grossi occorre una maggiore energia e quindi un tempo maggiore che con grani piccoli. Inoltre la superficie di contatto tra acqua e xilene con granuli grossi ed a parità di volume di terra è minore e si

ha anche per questo un aumento del tempo necessario per la distillazione.

Non essendovi una omogenea miscelazione della terra umida con lo xilene, se si segue l'andamento della distillazione con un termometro il cui bulbo sia immerso nel miscuglio del palloncino, si notano continui sbalzi di temperatura. Ciò è dovuto al fatto che il bulbo del termometro si viene a trovare a contatto di miscele di xilene ed acqua di tenore alternativamente variabile e non in diminuzione regolarmente progressiva, pur diminuendo nel complesso il contenuto in acqua.

Nella curva in distillazione questi fenomeni si ripercuotono determinando irregolarità dell'andamento ed un raccordo fra i due bracci della curva molto meno marcato.

Risultando la curva di raccordo molto più estesa ed irregolare, questo andamento non si presta alla ricerca approssimata del contenuto in acqua convenzionale in base a considerazioni che verranno fatte più avanti.

c) Variando l'intensità di fiamma si varia la quantità di energia erogata nell'unità di tempo per eseguire la distillazione. In definitiva si viene a variare il tempo di distillazione, ma il risultato finale è sempre lo stesso.

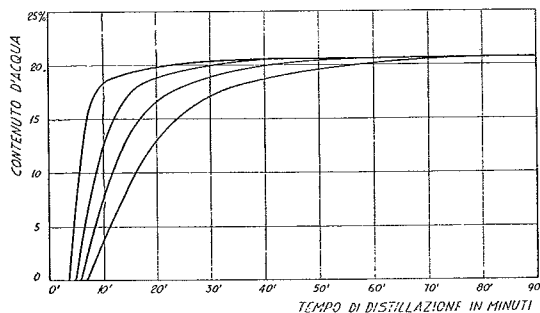


Fig. 6

In Fig. 6 sono tracciate curve ottenute per un terreno argilloso (argilla gialla di Padova) con diverse intensità di fiamma ed a parità di tutte le altre condizioni.

Agli effetti di quanto accennato alla fine del capoverso b) sarà quindi preferibile operare con fiamma costante piuttosto intensa.

d) La quantità di xilene e terra interviene solo nel variare l'inizio della distillazione in quanto varia la quantità di sostanza da riscaldare e in definitiva agisce solo sul tempo di distillazione.

Nel diagramma della Fig. 7 sono messi in confronto i risultati ottenuti per la determinazione del contenuto in acqua col metodo dell'essiccazione e con quello della distillazione (per una durata di 60 minuti) per diversi tipi di terreno. Si osserva che con la distillazione si ottiene sempre un contenuto in acqua maggiore rispetto a quello determinato con la essiccazione. Per spiegare questo fatto bisogna fare una premessa onde chiarire come si svolge il processo di distillazione del terreno collo xilene.

Lo xilene e l'acqua formano un miscuglio eterogeneo, l'ebollizione quindi avviene quando la somma delle tensioni di vapore dei due componenti uguaglia la pressione atmosferica.

La temperatura di ebollizione dello xilene è di 140°; quella dell'acqua libera è di 100° (alla pressione di 760 mm). Solo una parte dell'acqua della terra può bollire a 100°, perchè la rimanente acqua, che è più saldamente legata alla terra, ha una tensione di vapore più bassa. Per quest'ultima parte di acqua è necessario quindi una temperatura più alta affinché possa entrare in ebollizione. Non raggiungendo questa temperatura, quell'acqua può però ugualmente evaporare e ciò finchè la sua tensione di vapore è superiore alla tensione parziale del vapor d'acqua nell'atmosfera. Cesserà di evaporare quando la sua tensione diminuendo avrà raggiunto il valore della tensione parziale del vapor d'acqua nell'atmosfera, che è dell'ordine di 10÷20 cm di mercurio.

Ora coll'essiccazione nel forno a 105° una prima quantità d'acqua libera, se presente, potrà entrare in ebollizione; successivamente l'acqua continuerà ad evaporare e cesserà quando la sua tensione di vapore sarà diminuita fino ad eguagliare la pressione parziale del vapor d'acqua nell'atmosfera.

Con la distillazione invece questo equilibrio non si raggiunge perchè la distillazione avviene in corrente di vapori di xilene e si può continuare ad estrarre acqua praticamente fino al valore zero della tensione dell'acqua nella terra.

Mano a mano però che diminuisce la tensione di vapore dell'acqua occorrerà del tempo sempre maggiore per estrarne dell'altra. Infatti il fenomeno è regolato dalla proporzione:

$$\frac{p_{H_2O}}{p_{xil}} = \frac{n_{H_2O}}{n_{xil}}$$

dove è :

p_{H_2O} = tensione di vapore dell'acqua

p_{xil} = tensione di vapore dello xilene

n_{H_2O} = numero di molecole d'acqua estratte

n_{xil} = numero di molecole di xilene estratte

Si deduce dalla proporzione che, diminuendo p_{H_2O} per estrarre un egual numero di molecole d'acqua n_{H_2O} occorre distillare un maggior numero di molecole di xilene n_{xil} , e quindi in definitiva un tempo maggiore.

Quanto detto spiega l'andamento delle curve di distillazione che tendono asintoticamente ad una retta orizzontale.

E' spiegato pure il fatto per cui con la distillazione in corrente di vapore di xilene estrae una quantità d'acqua maggiore che con l'essiccazione a 105° per 24 ore. Si otterrebbero gli stessi risultati, indipendentemente dalla durata del processo di essiccazione,

se l'essiccazione stessa potesse avvenire in corrente d'aria perfettamente secca.

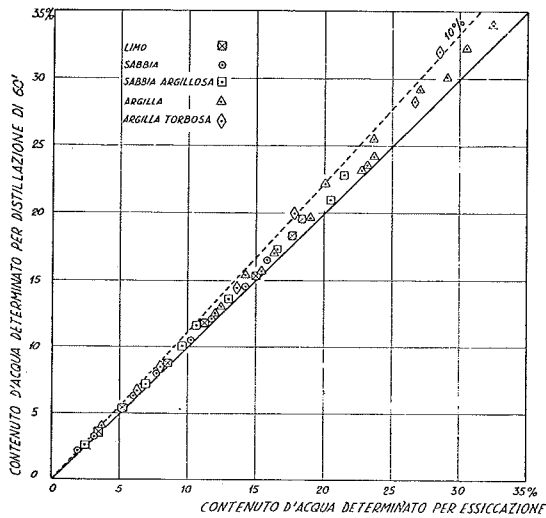


Fig. 7

Se si osservano i dati riportati nel diagramma della Fig. 7, in cui sono messi in confronto i risultati ottenuti determinando il contenuto in acqua di diversi terreni col metodo dell'essiccazione e con quello della distillazione per una durata di 60 minuti, si può constatare che l'errore in più che si commette con quest'ultimo metodo si aggira intorno al 5% e può raggiungere talvolta valori intorno al 10%.

Quest'approssimazione può essere spesso accettabile per la pratica costruttiva. Può però essere spesso preferibile o necessario una precisione maggiore.

Si può ridurre un po' l'errore limitando empiricamente la distillazione ad un tempo un poco più breve, ma la scelta di questo tempo dipende dalla natura del terreno e dal modo di operare.

Ci si può avvicinare di più ai risultati che si ottengono per essiccazione col metodo empirico seguente, che implica il tracciamento della curva di distillazione. Si traccia una tangente al primo tratto, praticamente rettilineo, della curva ed una tangente in un punto compreso nella zona da 25 a 35 minuti circa dall'inizio condensazione (Fig. 8); dove più precisamente sarà scelto il tempo minore per i terreni sabbiosi e quello maggiore per i terreni coerenti, ed un valore intermedio per terreni di natura mista. L'ordinata del punto di intersezione delle due rette

tangenti fornisce il valore approssimato del contenuto in acqua che si desidera.

Nel diagramma della Fig. 9 sono confrontati i valori del contenuto in acqua di diverse terre ottenuti con l'essiccazione e con il metodo sopra esposto operando sulle curve di distillazione corrispondenti ai valori riportati nel diagramma della Fig. 7.

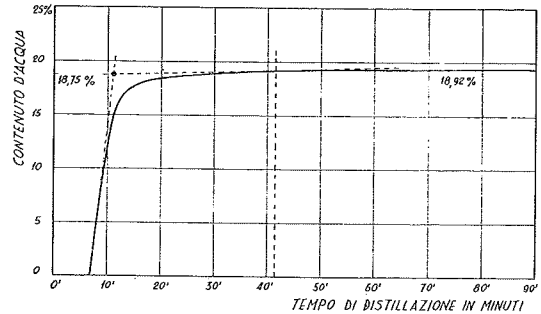


Fig. 8

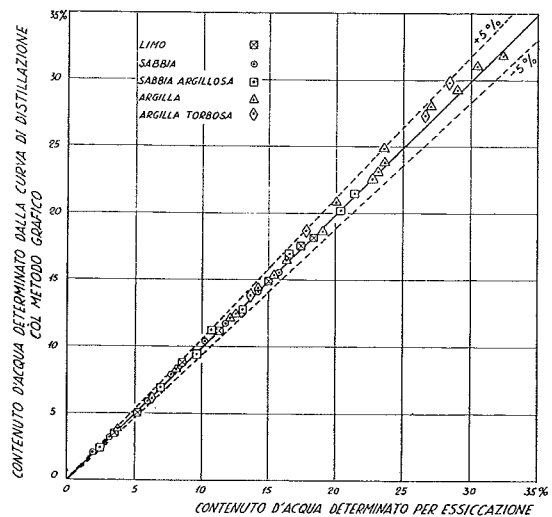


Fig. 9

Ovviamente quella sopra esposta è una regola del tutto empirica ed i risultati dipendono sempre dal modo secondo cui viene eseguito il processo di distillazione. Sarà quindi necessario che un operatore, prima di applicarla usualmente, faccia una certa pratica confrontando per un certo numero di volte i risultati ottenuti con questo metodo e quelli ottenuti col metodo classico di essiccazione.

SOMMAIRE: On analyse expérimentalement et théoriquement le processus d'extraction de l'eau des sols en courant de vapeur de xylène afin d'en déterminer la teneur en eau et on compare les résultats obtenus par cette méthode avec ceux déterminés par la méthode classique de dessiccation.

SUMMARY: Experimental and theoretical analysis of a process of extracting water from soils in a current of xylene vapor in order to determine their moisture content, and comparison of the results with those obtained following the classical drying method.