



**HAL**  
open science

# Logiciel d'interprétation des analyses de terre. Module etat physique. Projet LIAT, document de specification technique

Pierre Stengel

► **To cite this version:**

Pierre Stengel. Logiciel d'interprétation des analyses de terre. Module etat physique. Projet LIAT, document de specification technique. 14 p., 1987. hal-02853047

**HAL Id: hal-02853047**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02853047>**

Submitted on 7 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.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIAME  
S.M.Y.H.D.R.  
PARIS

INSTITUT NATIONAL  
DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

DIRECTION SCIENTIFIQUE  
"MILIEU PHYSIQUE ET AGRONOMIE"  
PARIS

# PROJET LIAT

## LOGICIEL D'INTERPRETATION

## DES ANALYSES DE TERRE

DOCUMENT DE SPECIFICATION TECHNIQUE N° 9

MODULE " ETAT PHYSIQUE "

Auteurs : P. STENGEL et collaborateurs

Station de Science du Sol Montfavet

Octobre 87

## MODULE "ETAT PHYSIQUE"

### I Introduction :

Ce quatrième module assure le calcul des indices de comportement physique intrinsèques définis par le Département de Science du Sol de l'INRA :

- stabilité structurale
- taux de saturation à la capacité de rétention
- densité à l'optimum Proctor
- gonflement potentiel

La valeur calculée des indices sera accompagnée d'un commentaire très court pour la situer dans son domaine courant de variation. Aucun commentaire global ne sera fait sur le comportement du sol en place. De même, aucune observation ne sera émise sur telle ou telle opération culturale ou les conditions de sa mise en oeuvre.

### Préparation :

L'utilisation de ce module ne nécessite aucune préparation particulière. Le responsable pourra décider de son activation ou de son inactivation au niveau du système entier ou de chaque cas particulier.

### Conditions générales d'application:

L'évaluation des indices n'aura lieu que sous diverses conditions :

- taux de carbone total inférieur à 3 %;
- taux de calcaire total inférieur à 10 %;
- absence de sels solubles dans le sol;
- taux de saturation de la CEC par le sodium inférieur à 5 %;

Lorsqu'on ne disposera pas de l'information correspondante aux deux dernières conditions on fera l'hypothèse que celles-ci sont vérifiées. Un commentaire complémentaire accompagnera les résultats pour attirer l'attention sur la nécessité d'une vérification et la nature de l'hypothèse.

### Structure du modèle "Etat Physique" :

#### Etape 1 : Estimation de la stabilité structurale

- § 1 . Calcul de Ist
- § 2 . Calcul de Ist actuel
- § 3 . Calcul de Is à 10 ou 25 ans
- § 4 . Sorties, commentaires, archivage

#### Etape 2 : Effet de compactage

- § 1 . Calcul du taux de saturation à la capacité de rétention
- § 2 . Calcul de la densité à l'optimum Proctor
- § 3 . Sorties, commentaires, archivage

#### Etape 3 : Aptitude à la fissuration

- § 1 . Calcul du gonflement potentiel
- § 2 . Sorties, commentaires, archivage.

#### Etape 4 : Essai de repérage des situations extrêmes vis à vis l'accessibilité des réserves

## II STABILITE STRUCTURALE

### Principe :

L'appréciation de la stabilité structurale s'effectue en deux temps. Un indice de stabilité dit textural est tout d'abord apprécié en fonction de la répartition granulométrique de la phase minérale (non décalcifiée dans le cas des sols carbonatés). Il est noté Ist. On utilise ici, en fonction de la proportion de sable, deux grilles reliant argile, limons fins et valeur expérimentale de Ist, suivi d'une intrapolation linéaire pour obtenir le résultat correspondant à l'échantillon.

Une correction intervient ensuite pour tenir compte de l'effet de la matière organique, lorsque celle-ci représente au moins 7% de la teneur pondérale en argile. On utilise à cet effet une régression statistique, après une estimation d'un "taux d'agrégats stables après test au benzène" Agb. On obtient l'indice de stabilité structural actuel complet log 10 Is sur lequel porte une appréciation à partir d'une échelle à 5 classes.

Un deuxième indice de stabilité complet est calculé en utilisant la teneur en matière organique prévisible soit à 10 ans, soit à 25 ans en fonction du passé cultural, où peut apparaître ou non un retournement de prairie. Ceci suppose que le présent module "Etat Physique" soit situé en aval du module "Etat Organique". L'écart observé ( $\Delta \log 10 Is$ ) permet de se prononcer sur l'intensité et le sens d'évolution de la stabilité structurale, sous l'hypothèse du maintien du système de culture et de la profondeur de labour, sous-jacent au calcul du bilan humique.

### Données :

IST	: Indice de stabilité texturale
CMOAIS	: Contribution actuelle de la matière organique à Is
L10ISA	: Valeur actuelle de log 10 Is
L10ISF	: Valeur future de log 10 Is dans 10 ou 25 ans
AGB	: Taux d'agrégats stables au test benzène (calculé)
CARTOT	: Taux de carbone total actuel
ARGGRA	: Teneur en argile %
LIMTOT	: Teneur en limon totale %
LIMFIN	: Teneur en limon fin
SABTOT	: Teneur en sable total pour cent
CECMIN	: CEC minérale de la fraction fine du sol
CART10	: Taux de carbone dans 10 ans
CART25	: Taux de carbone dans 25 ans
ARPPCL	: Indicateur de retournement de prairie.

### Algorithme

#### ◇ Calcul de Ist, indice de stabilité textural :

Le calcul n'a lieu que si  $30 \leq \text{CECMIN} \leq 60$ , hypothèse supposée vérifiée en l'absence de renseignement sur CECMIN. En dehors de ces bornes une évaluation directe de IST par le test de laboratoire est préférable. L'estimation de IST est effectuée par intrapolation entre des valeurs expérimentales disponibles, reliées à la teneur en argile et à la teneur en limon fin sur un abaque triangulaire.

Si  $\text{SABTOT} < 5$  la base de calcul est le tableau TIST1.

Si  $\text{SABTOT} \geq 5$  la base de calcul est le tableau TIST2.

Ces tableaux comportent actuellement et respectivement 26 et 34 points. Ils restent ouverts de façon à accueillir de nouvelles valeurs.

Note : A défaut de LIMFIN obtenu par granulométrie ou lecture du fichier sol on fera au préalable

$$\text{LIMFIN} = \text{LIMTOT} * 2 / 3$$

Proposition de procédure d'intrapolation en trois phases.

+ Recherche des trois points (A1,L1 ; A2,L2 ; A3,L3) non alignés les plus proches du point de coordonnées ARGGRA et LIMFIN représentant l'échantillon sur le triangle adéquat et lecture de leur troisième coordonnées IST1,IST2,IST3. En toute rigueur Li représente la teneur en limon fin si SABTOT < 5 % , la teneur en limon total dans le cas contraire. On incrémente par pas de 1 % ARGGRA et LIMFIN successivement dans les quatre quadrants. Si plusieurs points apparaissent on calcule leur distance euclidienne au point représentant l'échantillon et on retient celui dont cette distance est la plus faible. Si deux points subsistent avec la même distance , celui ayant le plus faible écart de teneur en argile avec l'échantillon sera finalement retenu.

+ Recherche de l'équation du plan passant par les trois points de références ce qui revient à déterminer les quatre coefficients a,b,c,d d'une équation du type  $aA + bL + cIST + d = 0$ .

+ Utilisation de cette équation pour calculer la coordonnée IST correspondant à l'échantillon dont on connaît les deux autres coordonnées ARGGRA et LIMFIN avec :

$$IST = - ( d + a ARGGRA + b LIMFIN ) / c$$

$$L10IST = \log( 10 * IST )$$

◇ Alternative à la procédure d'intrapolation:

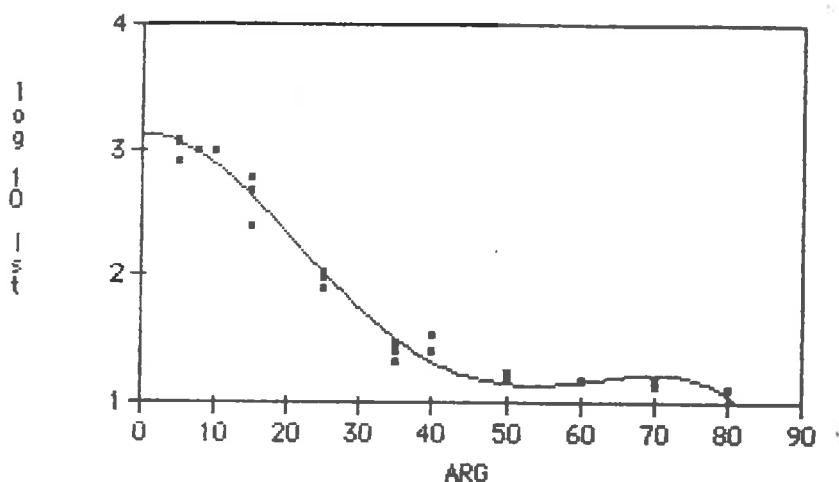
Dans la mesure où la procédure d'intrapolation se révélerait trop onéreuse en temps de calcul on pourra utiliser les expressions suivantes obtenues à partir des valeurs expérimentales des tableaux fournis en annexe:

+ Cas SABTOT < 5 % : La teneur en limon intervient peu et son effet peut être négligé.

$$L10ISA = 3.1226868 + .0057216 * X - .0036593 X^2 + .0000788 X^3 - .0000005 X^4$$

$$\text{ou } X = ARGGRA \quad (r^2 = 0,980)$$

Le graphique correspondant à cette expression est le suivant:



+ Cas SABTOT ≥ 5 %:

$$L10ISA = -.1513613 - .0310126 * X + .0406074 * Y + .400524 * X^5 - .005783 * X^5 * Y$$

$$\text{ou } X = ARGGRA \text{ et } Y = LIMTOT \quad (r^2 = 0,970)$$

Dans cette expression la teneur en limon a un poids important.

◇ Contribution de la matière organique actuelle et Calcul de log 10 Is actuel :

$$RCA = \text{CARTOT} / \text{ARGGRA}$$

cas 1 :  $RCA < 0,035$  (la matière organique représente moins de 7 % de l'argile).

$$L10IS A = L10IST$$

cas 2:  $RCA > 0,035$  (la matière organique représente au moins 7 % de l'argile).

$$AGB = (1,70 * RCA) - 6$$

Si  $AGB < 2\%$  alors  $AGB = 0$

$$IS = IST$$

$$L10IS A = L10IST$$

Si  $AGB \geq 2\%$

Si  $AGB > 10\%$  alors  $AGB = 10\%$

$$CMOAIS = \log(0,8 - 0,03 * AGB) - \log(1 + 0,1 * AGB)$$

$$L10IS A = L10IST + CMOAIS$$

◇ Calcul de log 10 Is futur

On procède de la même manière que pour "log 10 Is actuel", en utilisant CART25 (taux de carbone dans 25 ans, ARPPCL étant  $\geq 10$ ) ou CART10 (taux de carbone dans 10 ans pour les parcelles issues de retournement de prairie, ARPPCL étant  $< 10$ ) au lieu de CARTOT. Le résultat donne L10ISF (F pour futur).

◇ Sens de variation et écart entre "log 10 Is actuel" et "log 10 Is futur"

$$\Delta L10IS = L10ISF - L10ISA$$

**Sortie :**◇ Expression bulletin:

Elle se décompose en trois commentaires accompagnant une représentation graphique .

## + Commentaire 1:

" Ce sol présente actuellement ...

Si :	$L10ISA \leq 1$	une très grande stabilité structurale"
	$1 < L10ISA \leq 1.3$	une grande stabilité structurale"
	$1.3 < L10ISA \leq 1.7$	une stabilité structurale moyenne"
	$1.7 < L10ISA \leq 2.0$	une instabilité structurale notable"
	$2.0 < L10ISA$	une grande instabilité structurale"

## + Commentaire 2:

" L'état organique actuel contribue ...

Si	$CMDAIS \leq 0.30$	peu à cette stabilité."
	$0.30 < CMDAIS \leq 0.60$	sensiblement à cette stabilité."
	$0.60 < CMDAIS$	beaucoup à cette stabilité."

## + Commentaire 3:

"L'évolution de l'état organique permet de prévoir d'ici [X] années

Si :	$-0.30 < \Delta L10IS \leq -0.20$	une amélioration importante de la stabilité structurale
	$-0.20 < \Delta L10IS \leq -0.10$	une amélioration modérée de la stabilité structurale
	$-0.10 < \Delta L10IS \leq +0.10$	le maintien de la stabilité structurale
	$+0.10 < \Delta L10IS \leq +0.20$	une baisse sensible de la stabilité structurale
	$+0.20 < \Delta L10IS \leq +0.30$	une baisse très sensible de la stabilité structurale

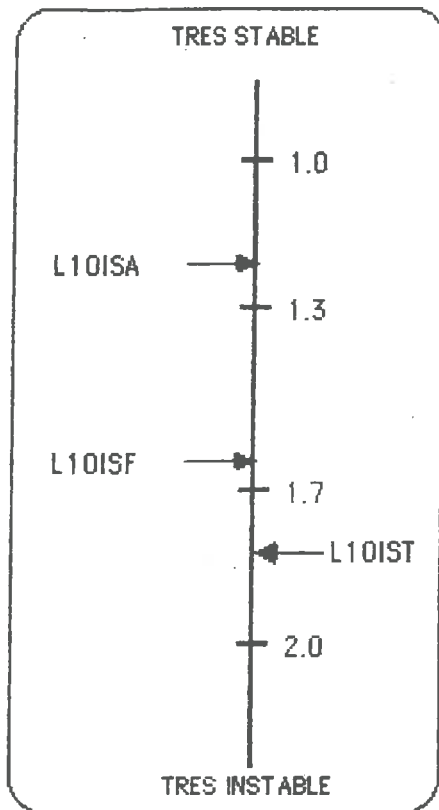
[X] sera égal à 10 si ARPPCL < 10  
à 25 si ARPPCL  $\geq$  10

## + Représentation graphique (page suivante) :

Son principe est celui d'une échelle verticale sur laquelle viennent se positionner les valeurs calculées de L10IST, L10ISA, L10ISF. La première est située par une flèche à droite de l'échelle. Les deux autres par des flèches situées à gauche. On peut avoir en effet  $L10ISA = L10IST$  et il faut éviter la collision des symboles curseurs.

◇ Archivage

On conservera en base de données L10ISA et L10ISF sous forme d'un réel avec une décimale.



Echelle de stabilité structurale

**Analyse de la stabilité structurale : principe de la représentation graphique.**





**Sortie :**◇ Bulletin :

On donne ci-après les valeurs prises par IC3 en fonction du gonflement potentiel. La sortie "bulletin" n'est réalisée que si expressément demandée. L'appréciation tient compte de RCA, sauf pour les classes extrêmes.

		Valeur de IC3 :	
GONPOT $\leq$ 0.15		"Aucune aptitude à la fissuration"	1
0.15 < GONPOT $\leq$ 0.20	RCA < 0.035	"Très faible aptitude à la fissuration"	1
	RCA > 0.035	"Aucune aptitude à la fissuration"	
0.20 < GONPOT $\leq$ 0.25	RCA < 0.035	"Faible aptitude à la fissuration"	2
	RCA > 0.035	"Très faible aptitude à la fissuration"	
0.25 < GONPOT $\leq$ 0.30	RCA < 0.035	"Aptitude à la fissuration moyenne"	3
	RCA > 0.035	"Aptitude à la fissuration très moyenne"	
0.30 < GONPOT $\leq$ 0.35	RCA < 0.035	"Bonne aptitude à la fissuration"	4
	RCA > 0.035	"Aptitude à la fissuration moyenne"	
0.35 < GONPOT		"Excellente aptitude à la fissuration"	4

◇ Archivage : IC3 sous forme d'un entier court à un digit.

## IV COMPORTEMENT AU COMPACTAGE

### Principe :

Les conséquences d'un compactage s'apprécient à l'aide de deux termes :

- a) le niveau de compactage atteint après roulage;
- b) la vitesse de circulation de l'oxygène résultante;

Concrètement, on estime pour caractériser le premier terme la densité maximale atteinte par le matériau supposé à la capacité de rétention et soumis à une pression de deux bars. A défaut de mettre en oeuvre le test Proctor sur chaque échantillon, on utilise pour calculer la densité à l'optimum proctor D une régression de la forme :

$$1/D = aA + bC + d$$

Les coefficients de cette expression traduisent le fait que l'argile, au-delà du seuil de 20 %, et la matière organique diminuent la densité apparente (et donc la densité maximale D) dans toute la gamme d'humidité et déplacent vers les teneurs les plus fortes le seuil de sensibilité.

Le deuxième terme est une conséquence directe du taux de saturation atteint dans l'horizon, supposé de structure continue (c'est à dire sans voie préférentielle pour les phases liquides et gazeuse) et à la capacité de rétention. La vitesse de circulation de l'oxygène dans l'eau est en effet très faible. Les données de base sont donc l'humidité à la capacité de rétention ainsi que la densité texturale à la capacité de rétention, humidité la plus probable du sol en place (plutôt que l'humidité correspondant à l'optimum Proctor).

Le commentaire qui caractérise le "comportement du matériaux au compactage" repose sur une grille composée à partir des deux critères. Le gonflement potentiel se traduit par une aptitude à la restructuration, et donc par une durabilité des formes de compactage, plus ou moins importante.

Compte-tenu du domaine d'application du modèle pour l'appréciation de l'optimum Proctor, ce paragraphe est applicable uniquement si la teneur en argile est  $\geq 20$  %.

### Données :

CCO3AC	: Teneur en CaCO <sub>3</sub> total %
ARGGRA	: Teneur en argile granulométrique %
CARTOT	: Teneur en carbone %
CRP(1)	: Humidité pondérale à la capacité de rétention de l'horizon 1 de surface
ROS	: Densité de solide
IYT	: Indice des vides total
PECR	: Proportion d'eau à la capacité de rétention
TSATCR	: Degré de saturation ou taux de saturation à la CR
RODT(1)	: Densité texturale à la capacité de rétention de l'horizon 1 de surface
ROPROC	: Densité à l'optimum Proctor
IC3	: Classe de gonflement potentiel

### Algorithme :

#### ◇ Taux de saturation de l'horizon 1 à la capacité de rétention

Calcul de l'indice des vides total

$$IYT = (ROS / RODT(1)) - 1 \text{ avec } ROS = 2,65 \text{ valeur implicite si non calculée.}$$

Calcul de l'importance des vides occupés par l'eau à la capacité de rétention

$$PECR = CRP(1) * 2,65$$

Taux de saturation par l'eau à la capacité de rétention

$$TSATCR = PECR / IYT$$

Sécurité : Si  $TSATCR > 1.2$  alors  $TSATCR = 1.2$

si	$TSATCR \leq 0,8$	alors	IC1 = 1
si	$0,8 < TSATCR \leq 0,9$		IC1 = 2
si	$0,9 < TSATCR \leq 1,0$		IC1 = 3
si	$1,0 < TSATCR$		IC1 = 4

◇ Densité à l'optimum Proctor de l'horizon 1

$$IX = 0,00197 * ARGGRA + 0,00529 * CARTOT + 0,503$$

$$ROPROC = 1 / IX$$

si	$ROPROC \leq 1,5$	alors	IC2 = 1
si	$1,5 < ROPROC \leq 1,6$		IC2 = 2
si	$1,6 < ROPROC \leq 1,7$		IC2 = 3
si	$1,7 < ROPROC$		IC2 = 4

**Sortie :**

◇ Expression bulletin :

Le commentaire est composé de trois parties regroupées en deux phrases.

" Les tassements provoqués par un roulage opéré en conditions humides entraîneront un niveau de compacité [A] et un risque d'asphixie [B]. Compte tenu de l'aptitude à la restructuration ces conséquences seront [C]. "

Qualificatifs pour A :

IC2 = 1	A = " faible "
IC2 = 2	A = " modéré "
IC3 = 3	A = " élevé "
IC4 = 4	A = " très élevé "

Qualificatifs pour B :

IC1 = 1	B = " limité "
IC1 = 2	B = " non négligeable "
IC1 = 3	B = " important "
IC1 = 4	B = " très important "

Qualificatifs pour C :

IC3 = 1	C = " peu durables "
IC3 = 2	C = " durables "
IC3 = 3	C = " très durables "
IC3 = 4	C = " extrêmement durables "

◇ Archivage : IC1 et IC2 sous forme d'entier court à un digit.

## V ETAT PHYSIQUE ET UTILISATION DES RESERVES MINERALES

Note : Cette dernière partie constitue un essai de repérage des situations extrêmes vis à vis de l'accessibilité de l'offre minérale du sol .Elle présente un caractère hypothétique et n'est pas pour cette raison définitivement adoptée.On doit cependant en prévoir la programmation.

### Principes :

Il n'est pas possible de prévoir l'état structural du sol à une époque donnée, avec ses conséquences sur l'état d'aération, sans tenir compte du système de culture, des itinéraires techniques réellement mis en oeuvre et sans une typologie appropriée du climat, tous éléments faisant défaut ici. On cherche à distinguer simplement les situations dont l'état physique restera très favorable ou très défavorable à la valorisation des réserves dans la gamme des itinéraires techniques utilisés, mais aucune nuance ne veut être introduite pour toutes les situations intermédiaires auxquelles se réfèrent en général les abaques d'interprétation.

Les conséquences de l'état d'anoxie ou d'hypoxie prononcée étant particulièrement drastiques vis à vis de l'utilisation des réserves minérales (réduction de leur disponibilité , perturbation de l'absorption par les végétaux) conduisent, dans l'hypothèse d'un tassement, à le privilégier quelque peu par rapport au niveau de compacité atteint.

Le résultat ne fait pas l'objet d'un commentaire apparent sur le bulletin d'analyse. Selon la valeur de l'indicateur d'état une modulation de l'interprétation des principaux éléments nutritifs sera ou non mise en oeuvre dans les modules concernés.

### Données :

IC1 : classe de saturation atteint après tassement à la CR  
IC2 : classe de niveau de compacité atteint après tassement  
ESTPLB : indicateur d'état

### Algorithme :

◇ Pondération niveau de compacité/risque d'asphixie consécutifs à un tassement vis à vis de l'utilisation des réserves minérales :

$$PNCRA = (IC1^{1.5} * IC2^2)^{(1/3.5)}$$

◇ Indicateur d'état :

$PNCRA \leq 1.70$	ESTPLB = 1 (très favorable)
$1.7 < PNCRA \leq 2.70$	ESTPLB = 2 (intermédiaire)
$2.7 < PNCRA$	ESTPLB = 3 (très défavorable)

### Sortie :

- ◇ Expression bulletin : aucune.
- ◇ Archivage : ESTPLB entier court.

## ANNEXE CALCUL DE Ist

## 1/ Cas ou SABTOT &lt; 5 % : Elements du tableau TIST1

Valeurs expérimentales de Ist pour 26 couples (A,L) et valeurs correspondantes de log 10 Ist vraies ou calculées à l'aide de l'expression (  $\log 10 \text{ Ist} = a A + b A^2 + c A^3 + d A^4$  ). Ecart.

A	L	Ist vrai	log 10 Ist vrai	log 10 Ist cal	Ecart
80	1	1.3	1,113	1,054	0,059
70	1	1.35	1,130	1,220	-0,089
70	30	1.45	1,161	1,220	-0,058
60	1	1.45	1,161	1,160	0,000
60	40	1.5	1,176	1,160	0,015
50	1	1.5	1,176	1,143	0,032
50	50	1.7	1,230	1,143	0,086
40	1	2.5	1,397	1,325	0,072
40	60	3.4	1,531	1,325	0,206
35	15	2.1	1,322	1,506	-0,184
35	35	2.6	1,414	1,506	-0,091
35	50	3.0	1,477	1,506	-0,029
25	15	10.5	2,021	2,024	-0,003
25	35	8.0	1,903	2,024	-0,121
25	60	9.8	1,991	2,024	-0,033
25	70	9.6	1,982	2,024	-0,042
15	15	60	2,778	2,627	0,150
15	30	60	2,778	2,627	0,150
15	45	48	2,681	2,627	0,054
15	60	25	2,397	2,627	-0,229
10	1	100	3,000	2,888	0,111
10	90	100	3,000	2,888	0,111
7.5	12.5	100	3,000	2,991	0,008
5	35	80	2,903	3,069	-0,166
5	55	120	3,079	3,069	0,009
5	80	112	3,049	3,069	-0,020

2/ Cas ou SABTOT  $\geq 5$  % : Elements du tableau TIST2

Valeurs expérimentales de Ist pour 34 couples (A,L) et valeurs correspondantes calculées à l'aide de l'expression ( $\log 10 \text{ Ist} = a\sqrt{A} + bA + cL + d\sqrt{AL}$ ). Ecart.

A	L	Ist vrai	log 10Ist	log 10 Ist cal.	Ecart
60	1	1.35	1,130	1,086	0,044
50	1	1.3	1,113	1,129	-0,015
50	10	1.4	1,146	1,127	0,018
50	25	1.9	1,278	1,123	0,155
45	30	1.5	1,176	1,194	-0,018
45	55	1.9	1,278	1,239	0,039
35	7.5	1.2	1,079	1,1806	-0,101
35	15	1.5	1,176	1,228	-0,052
35	25	1.8	1,255	1,292	-0,037
35	35	1.9	1,278	1,356	-0,077
35	50	2.6	1,414	1,452	-0,037
30	1	1.2	1,079	1,120	-0,041
30	70	5.5	1,740	1,737	0,003
25	7.5	1.3	1,113	1,163	-0,049
25	15	1.8	1,255	1,251	0,003
25	35	2.1	1,322	1,485	-0,162
25	55	4.0	1,602	1,718	-0,116
20	1	1.05	1,021	1,034	-0,013
20	45	6.0	1,778	1,683	0,095
20	80	12	2,079	2,199	-0,119
15	7.5	1.3	1,113	1,071	0,042
15	15	2.1	1,322	1,207	0,114
15	30	4.0	1,602	1,480	0,121
15	55	10	2,000	1,936	0,063
15	70	31	2,491	2,209	0,282
10	1	0.9	0,954	0,827	0,126
10	90	60	2,778	2,813	-0,035
7.5	7.5	0.9	0,954	0,898	0,055
5	15	0.8	0,903	1,004	-0,101
5	25	1.25	1,096	1,281	-0,184
5	45	6.6	1,819	1,834	-0,0150
5	55	15	2,176	2,111	0,064
5	70	34	2,531	2,525	0,004
5	80	56	2,748	2,803	-0,055