

Modélisation du phénomène de sécheresse : interaction sol-plante- atmosphère

Daniel Tessier,
Physico-chimie et écotoxicologie des sols, INRA
Versailles (tessier@versailles.inra.fr)

Yves Coquet,
Environnement et Grandes Cultures INRA-INAPG Grignon

Nathalie Bréda
Ecophysiologie Forestière, INRA, Centre de Nancy,
Champenois

Plan de l'exposé

- 1. Le sol, un milieu hétérogène, établissement de fonctions de pédotransfert,**
- 2. La plante et ses caractéristiques.**
- 3. Exemples de bilans hydriques en fonction de la végétation**
- 4. Quelle approche pour modéliser la variation de volume du sol?**

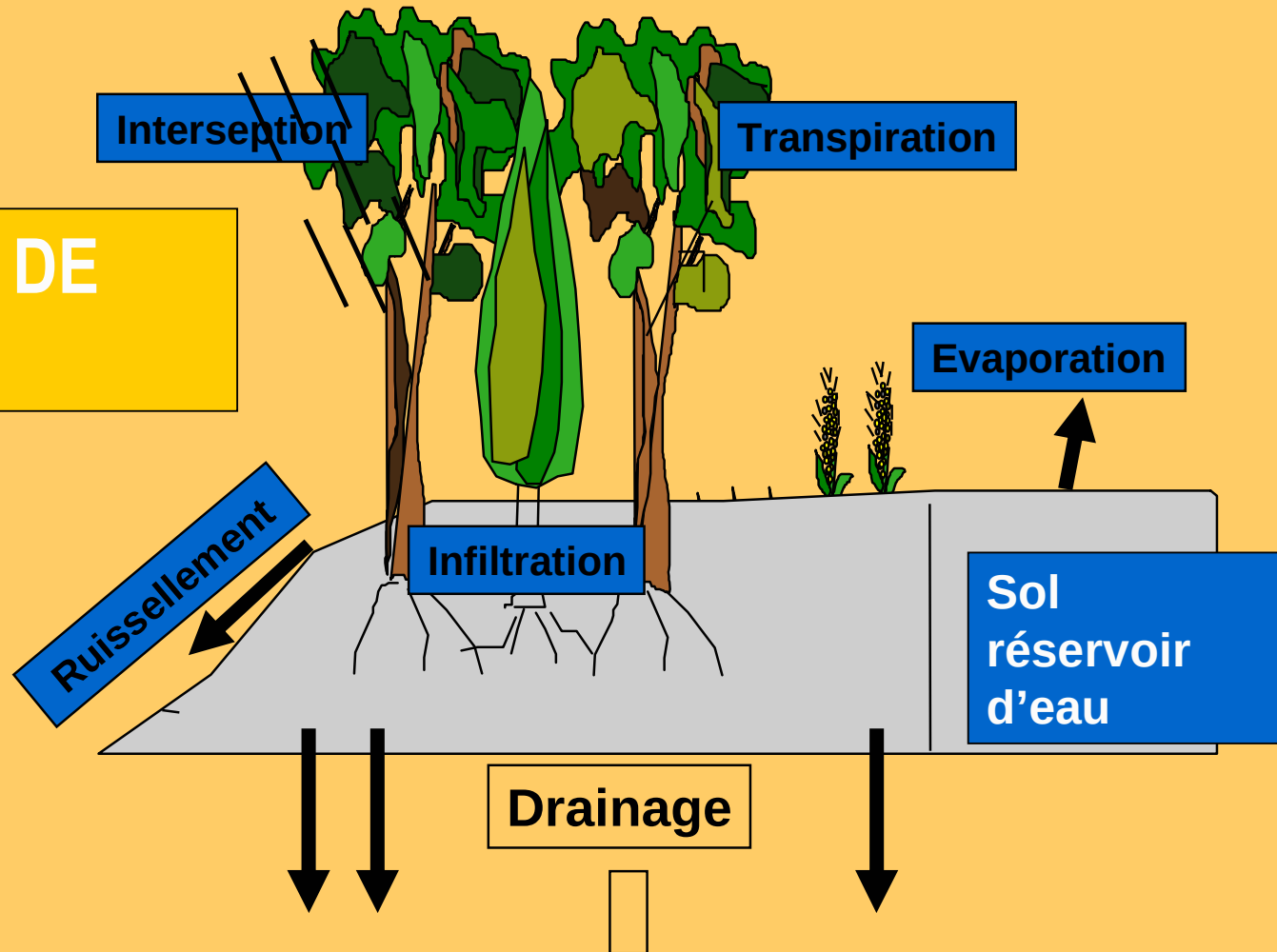
FACTEURS DE LA QUALITE DU SOL DU POINT DE VUE AGRONOMIQUE

UN MILIEU FAVORABLE A L 'ACTIVITE BIOLOGIQUE QUI IMPLIQUE:

- **LA DISPONIBILITE DE L 'EAU** (intensité et répartition de la pluie, eau irrigation) (500 l/kg matière sèche produite)
- **LA DISPONIBILITE DE L 'OXYGENE** (compacter?),
- **LA DISPONIBILITE DES CATIONS ET ANIONS** (ne pas fertiliser),
- **L 'EXISTENCE D 'ETRES VIVANTS AUTRES QUE LES PLANTES** (bactéries, champignons, etc.),
- **UN CONTEXTE GEOCHIMIQUE FAVORABLE** (faible salinité, acidité/alcalinité, présence de substances toxiques), ...laisser s'acidifier?
- **UN MILIEU FAVORABLE A L 'EXPLORATION DU SOL PAR LES RACINES ET A L 'ENCRAGE DES PLANTES** (porosité)

L'optimisation du milieu tend à augmenter la fourniture d'eau à la plante et à augmenter le gonflement retrait

CYCLE DE L'EAU



Une partie de l'eau coule (ruisselle) en surface. Le reste peut pénétrer (s'infiltrer) et alimenter le réservoir en eau qu'est le sol. Cette réserve permet aux plantes de grandir (se développer). Le reste va en profondeur (draine) et sert à alimenter les sources.

Le sol

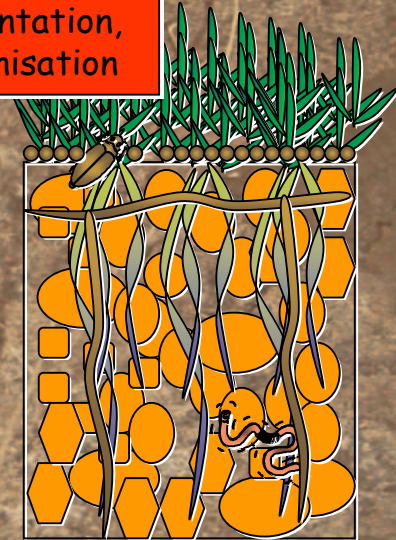
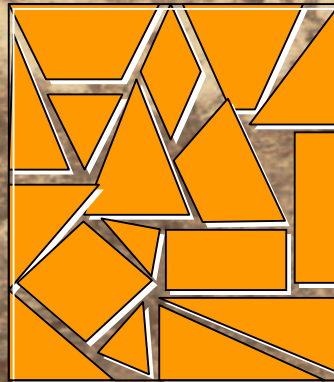
Climat :

Humectation / dessiccation,
Gel, chaleur

Animaux, plantes

Granulation, Cimentation,
Fissuration, organisation

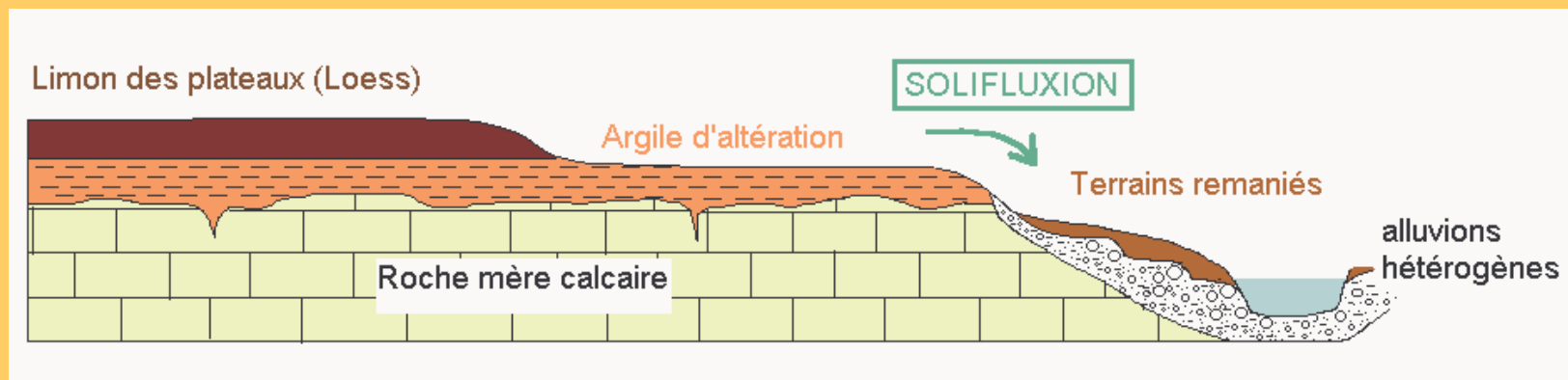
Roche mère



décompaction

Milieu poreux et
compressible

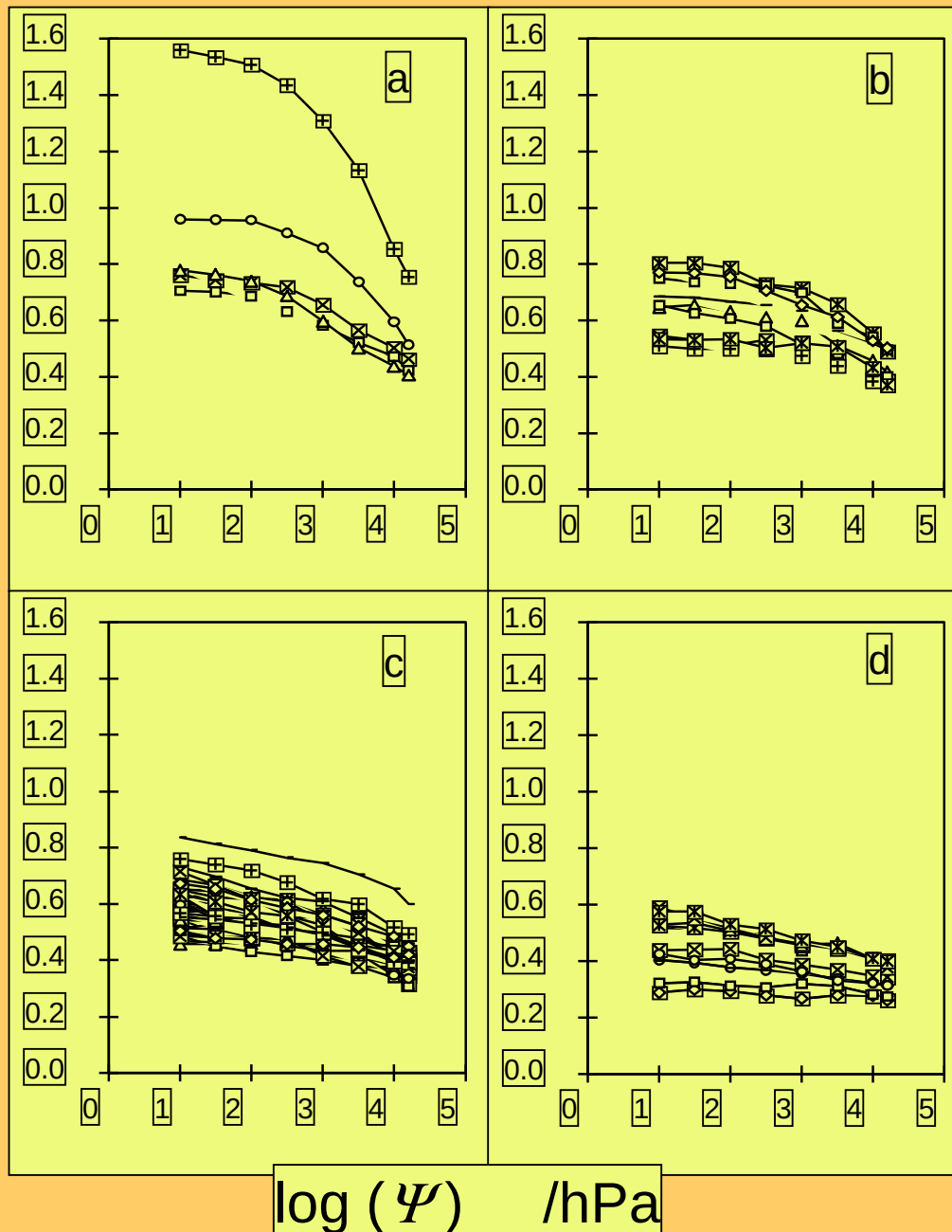
❑ ORGANISATION DES SOLS DANS L'ESPACE



Les matériaux potentiellement dangereux en climat tempéré sont:

- Les dépôts argileux,
- Les argiles d'altération (argiles à meulière, argiles à silex), souvent fortement poreux après dissolution des carbonates)
- Les accumulations locales d'argiles remaniées

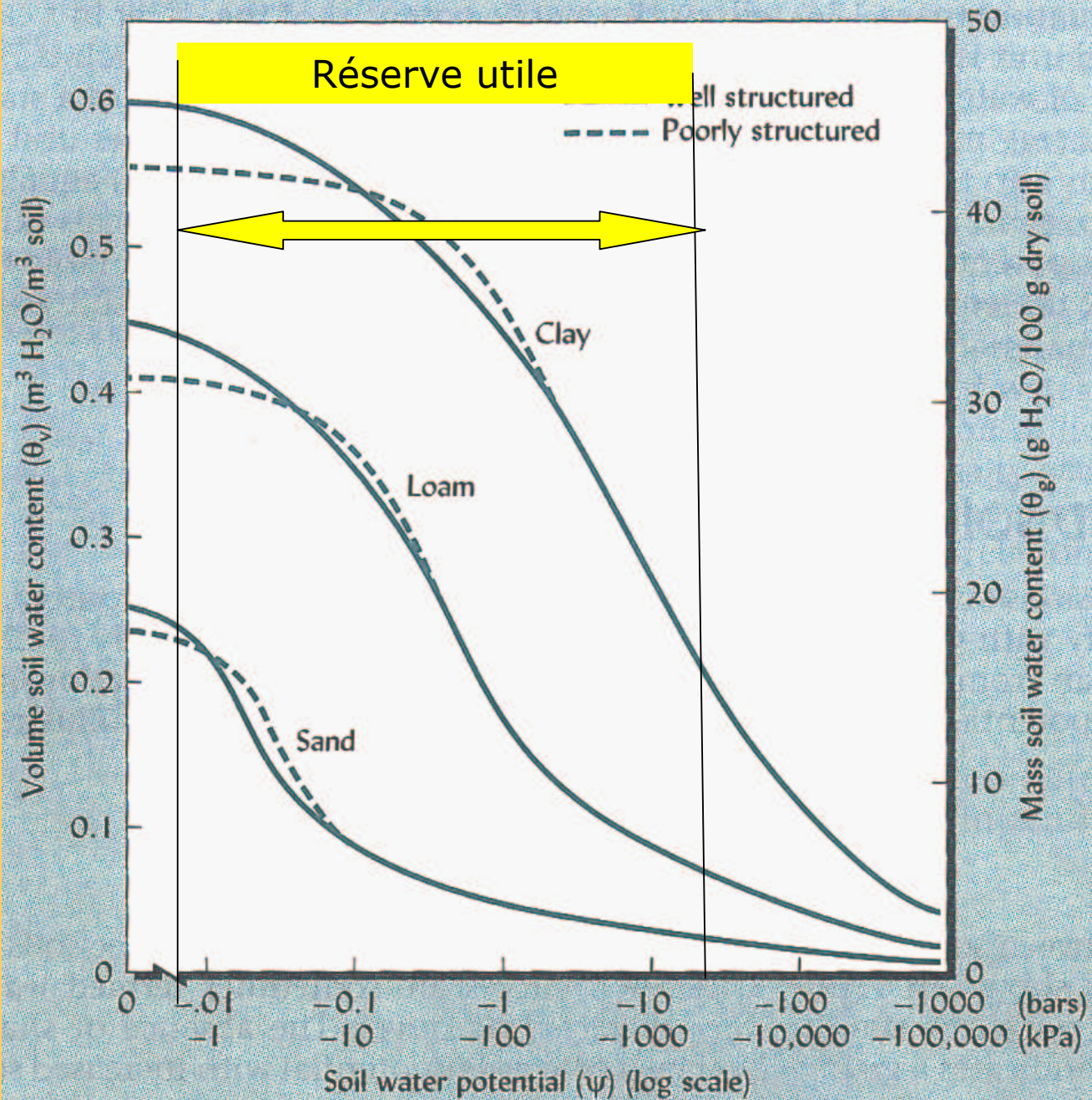
$W^c / \text{g g}^{-1}$



**Classification
d'horizons de
sol (même
granulométrie)**

**Le comportement du
sol dépend de
l'histoire du
matériau, y compris
due à la végétation**

Bruand et
Tessier, 2002,
EJSS



La plus grande partie des travaux sur la rétention de l'eau utilisent des relations de type :

$$W = a * \text{Argile} + b * \text{Limon} + c * \text{Sable} + d * \text{Corg} + e * \text{Da} \quad (2)$$

Avec :

W : teneur en eau massique

Argile : teneur en argile

Limon : teneur en limon

Sable : teneur en sable

Corg : teneur en carbone organique

Da : densité apparente sèche

a, b, c, d et e : coefficients de calage

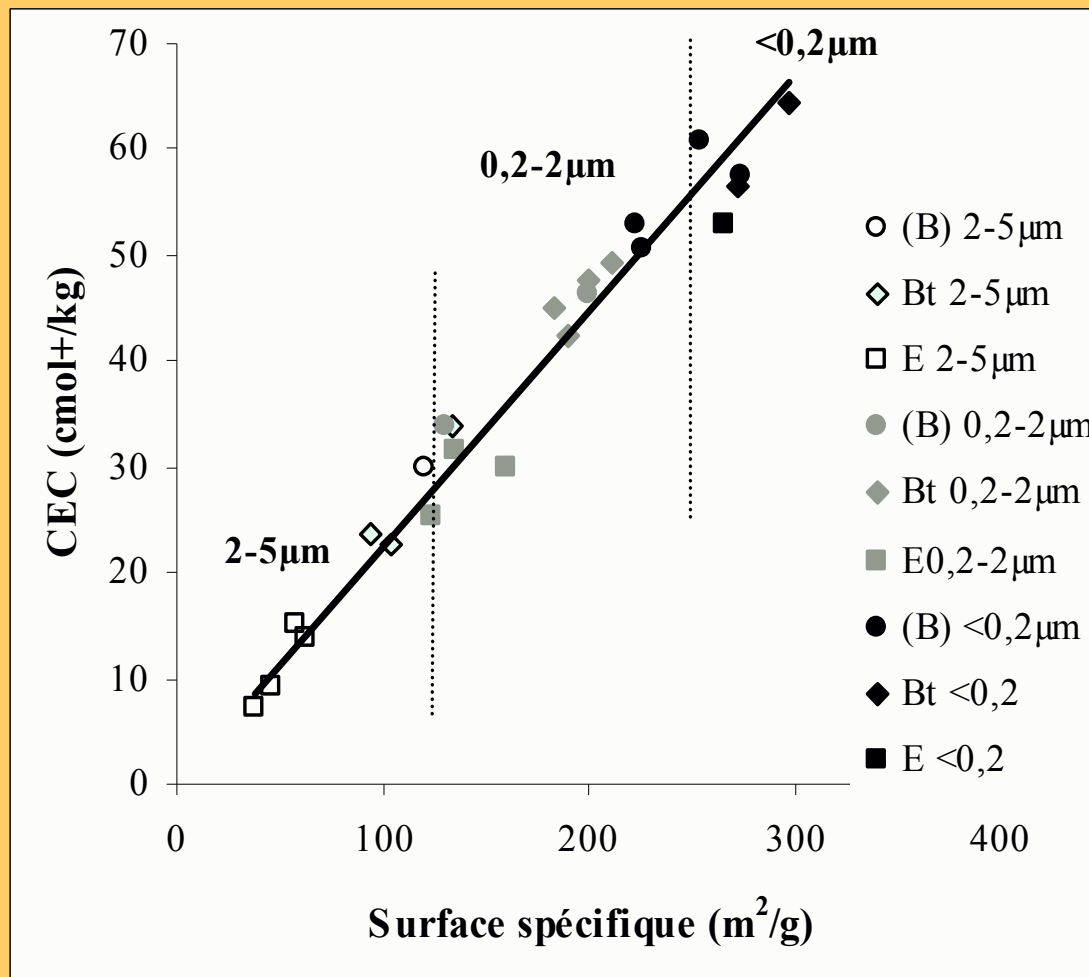
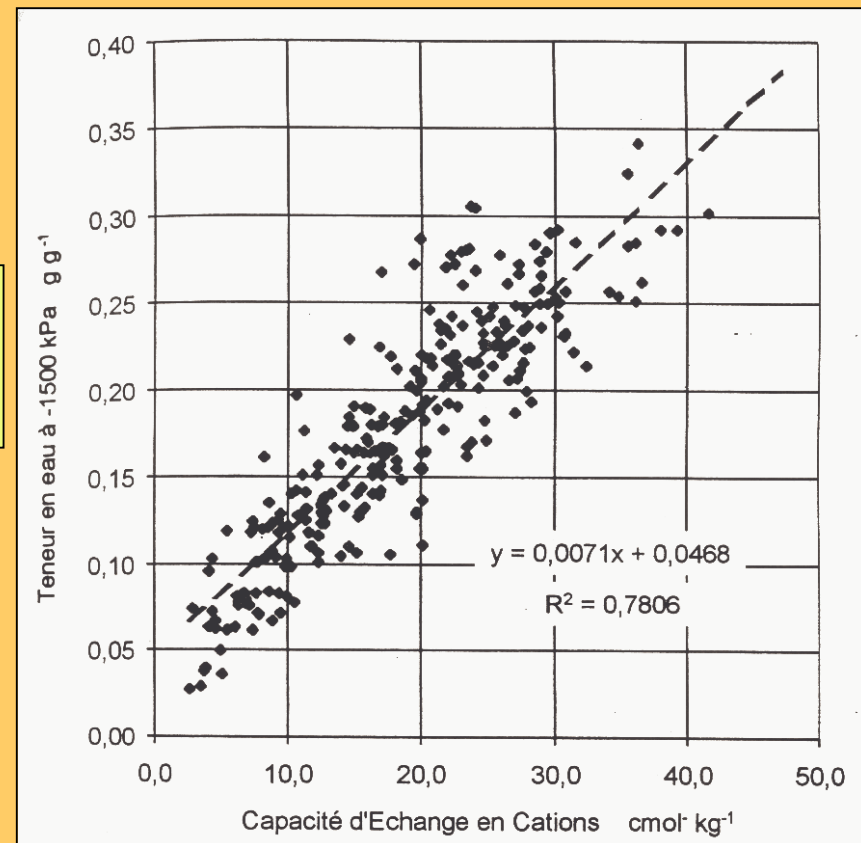


Fig. 6 : Relation entre la capacité d'échange des argiles des sols et leur surface spécifique mesurée à l'EGME (Eththylène Glycol Monoéthyl Ether). L'EGME s'adsorbe sous la forme d'une couche monomoléculaire. Connaissant la quantité adsorbée et on déduit la surface développée). Bigorre et Tessier, 2000

Mesure de la teneur en eau résiduelle

Mesure de la teneur en eau résiduelle (au point de flétrissement) à l'aide de la capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC: une méthode simple et efficace pour connaître la teneur en eau résiduelle du sol



(Tessier et al. 1999)

Capacité de rétention en eau du sol

Il est nécessaire de connaître la réserve en eau du sol

- **Teneur en eau résiduelle**



CEC

- **Teneur en eau à la capacité au champ**

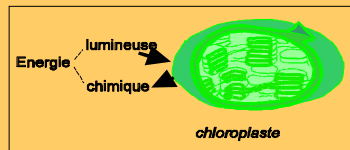


Densité apparente

Plan de l'exposé

- 1. Le sol, un milieu hétérogène, établissement de fonctions de pédotransfert,**
- 2. La plante et ses caractéristiques, son interaction avec le climat.**
- 3. Exemples de bilans hydriques en fonction de la végétation**
- 4. Quelle approche pour modéliser la variation de volume du sol?**

PHOTOSYNTHESE



TRANSPIRATION

RESPIRATION

Les
grandes
fonctions
des plantes

ABSORPTION

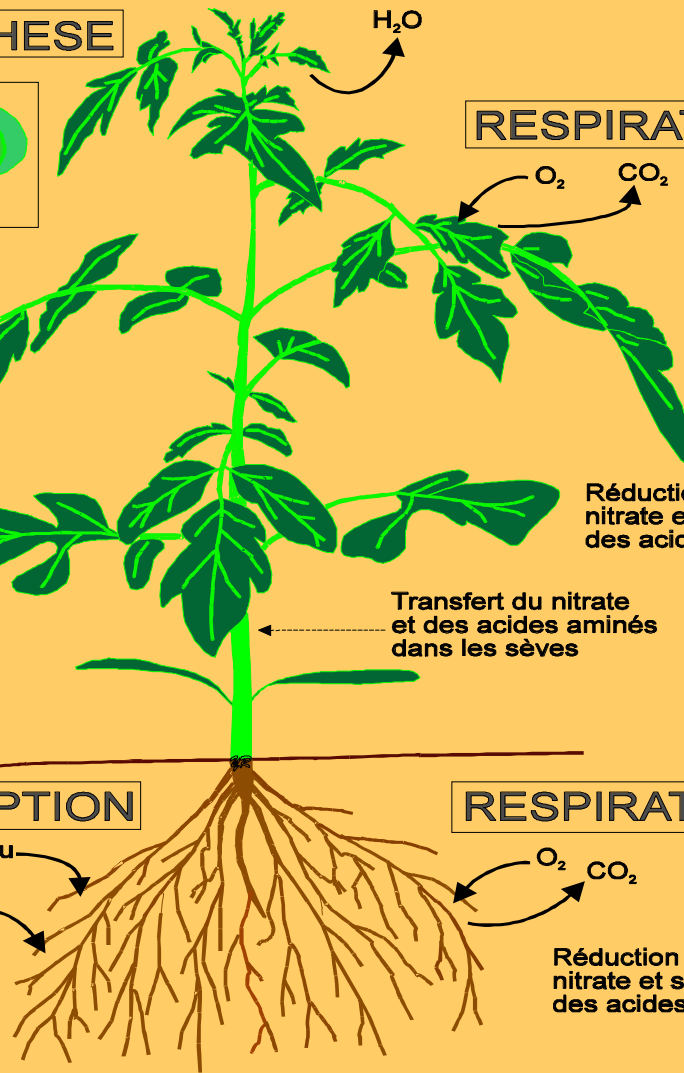
RESPIRATION

Eau
Sels minéraux
(NO_3^- , NH_4^+ , K^+ ...)

Réduction du
nitrate et synthèse
des acides aminés

Transfert du nitrate
et des acides aminés
dans les sèves

Réduction du
nitrate et synthèse
des acides aminés



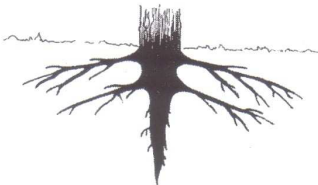
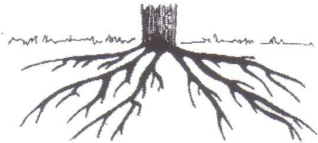
Exemple de forêt caractéristique de la France.



Système racinaire de l'arbre isolé

Le système racinaire dépend de:

- l'essence de l'arbre
- la texture du sol
- La réserve en eau disponible

Type	Schéma	Exemples
Pivotant		A enracinement profond Châtaignier, chêne sessile, chêne pédonculé, tilleul Sapin pectiné, sapin de Vancouver A enracinement moyennement profond Pin laricio de Corse
Traçant		Bouleau pubescent, bouleau verruqueux, Epicéa commun, peupliers (divers), tremble
Oblique		A enracinement profond Merisier Mélèze, pin noir d'Autriche A enracinement moyennement profond Charme, érable, hêtre Douglas

(ONF, 1999)

Calcul de l'évapotranspiration

On tient compte de la surface du feuillage et des conditions environnementales au voisinage (vent, humidité, hauteur de la végétation...).

$$E = -\rho(q_a - q_{sat}(T_s)) \left(\frac{1}{r_a + r_{sol}} + \frac{1}{r_a + r_c} \right)$$

(kg.m⁻² .s⁻¹)

ρ : masse volumique de l'air (kg.m⁻³)

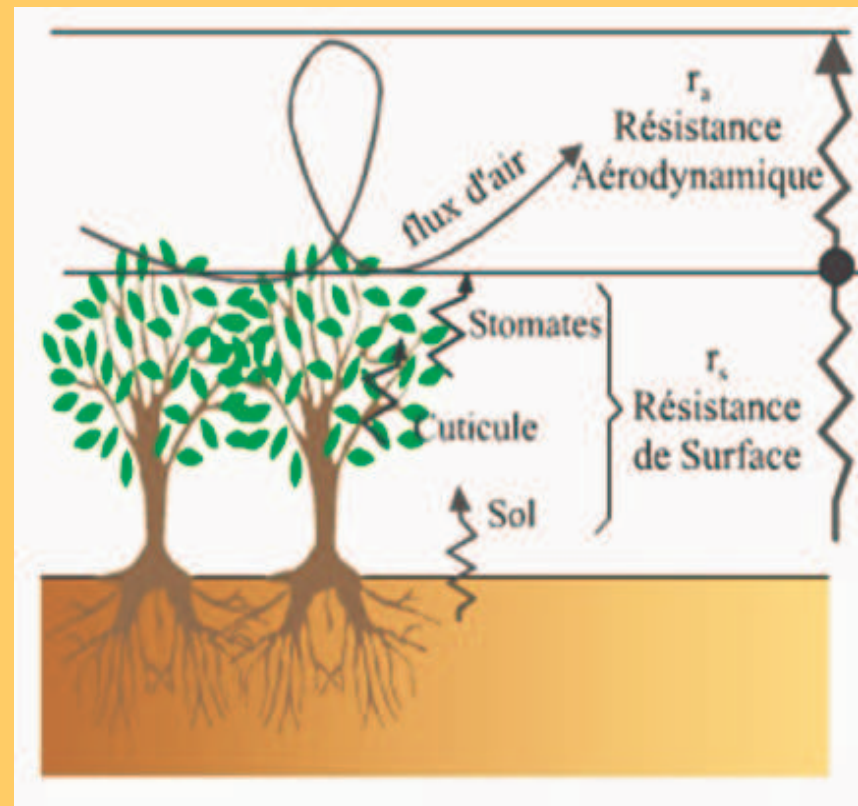
K : coefficient de diffusion (m².s⁻¹)

q : humidité spécifique (kg.kg⁻¹)

r_c : résistance culturale

r_a : résistance aérodynamique

r_{sol} : résistance du sol



Plan de l'exposé

- 1. Le sol, un milieu hétérogène, établissement de fonctions de pédotransfert**
- 2. La plante et ses caractéristiques.**
- 3. Exemples de bilans hydriques en fonction de la végétation**
- 4. Quelle approche pour modéliser la variation de volume du sol?**

Paramètres climatiques

Importance du type de végétation

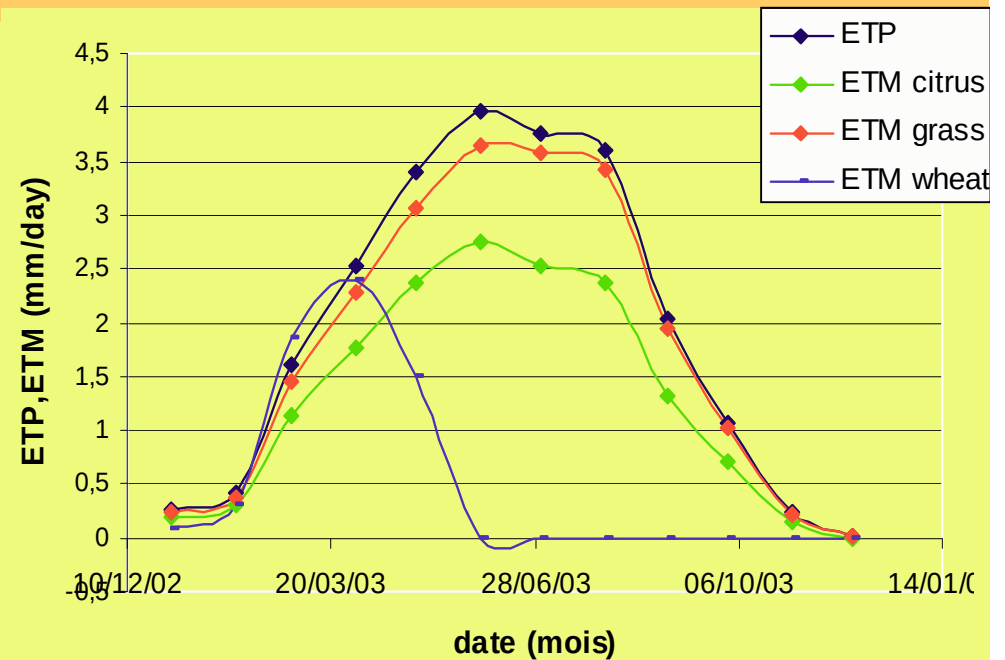
- Formule empirique de Penman utilisée par Météo France

- Détermination de l'évapotranspiration réelle ETR

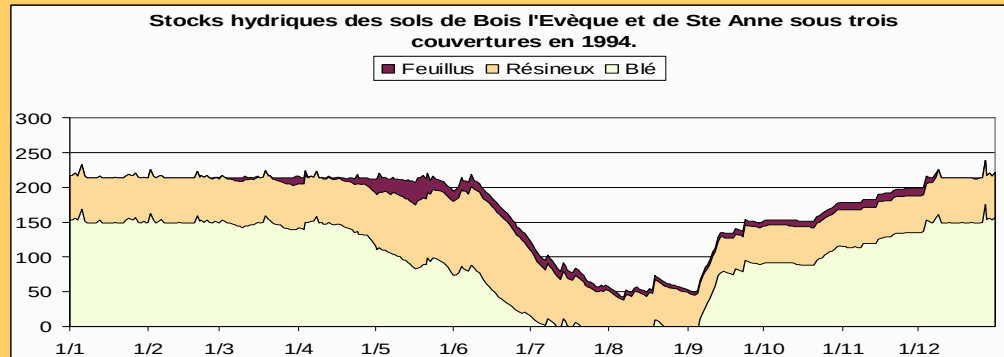
$$ETR = K_s K_c ET_0$$

Kc: coefficient cultural
Ks: coefficient de stress hydrique

- Logiciel CROPWAT

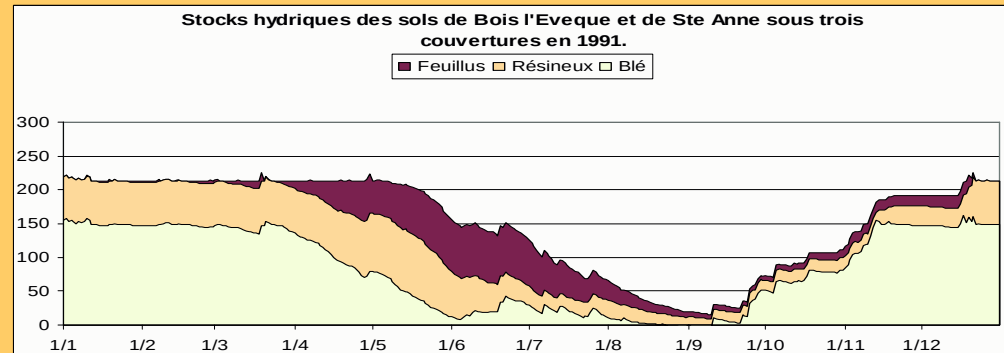


Année
moyenne

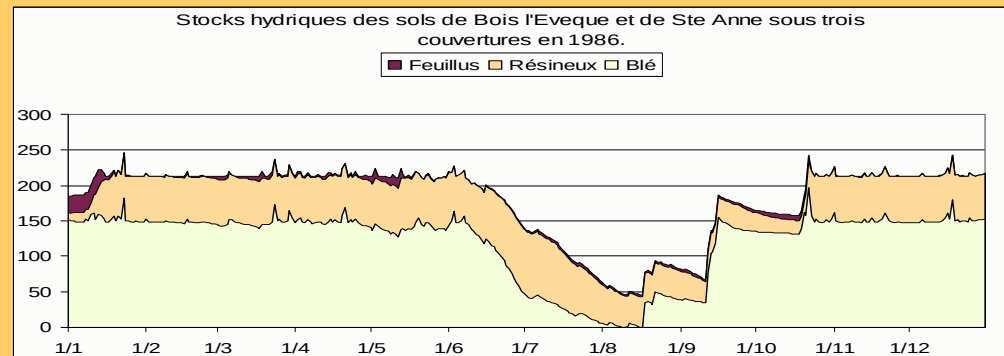


**Remarquer
la
différence
entre
résineux et
feuillus...**

Année
sèche



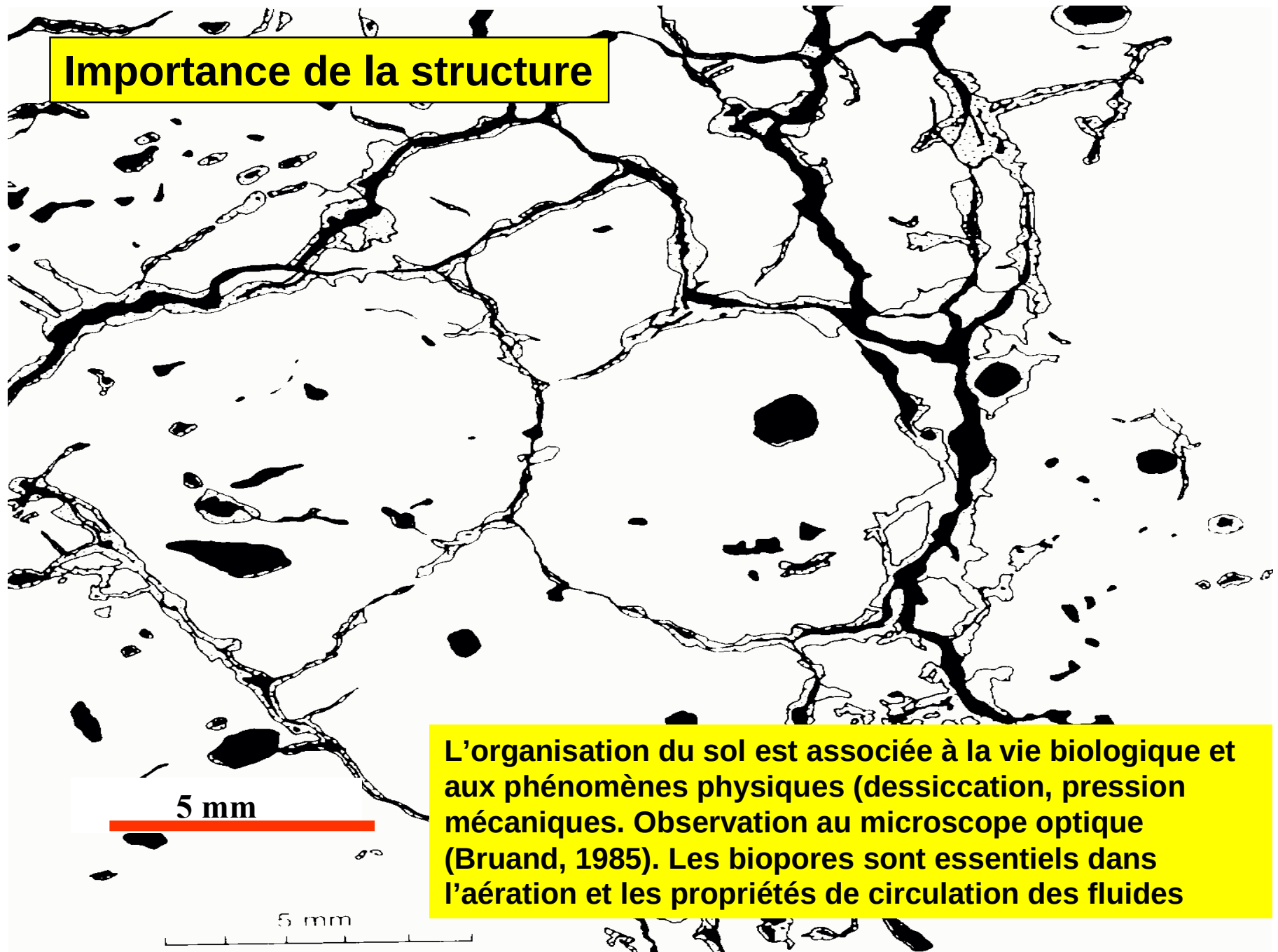
Année
humide



Plan de l'exposé

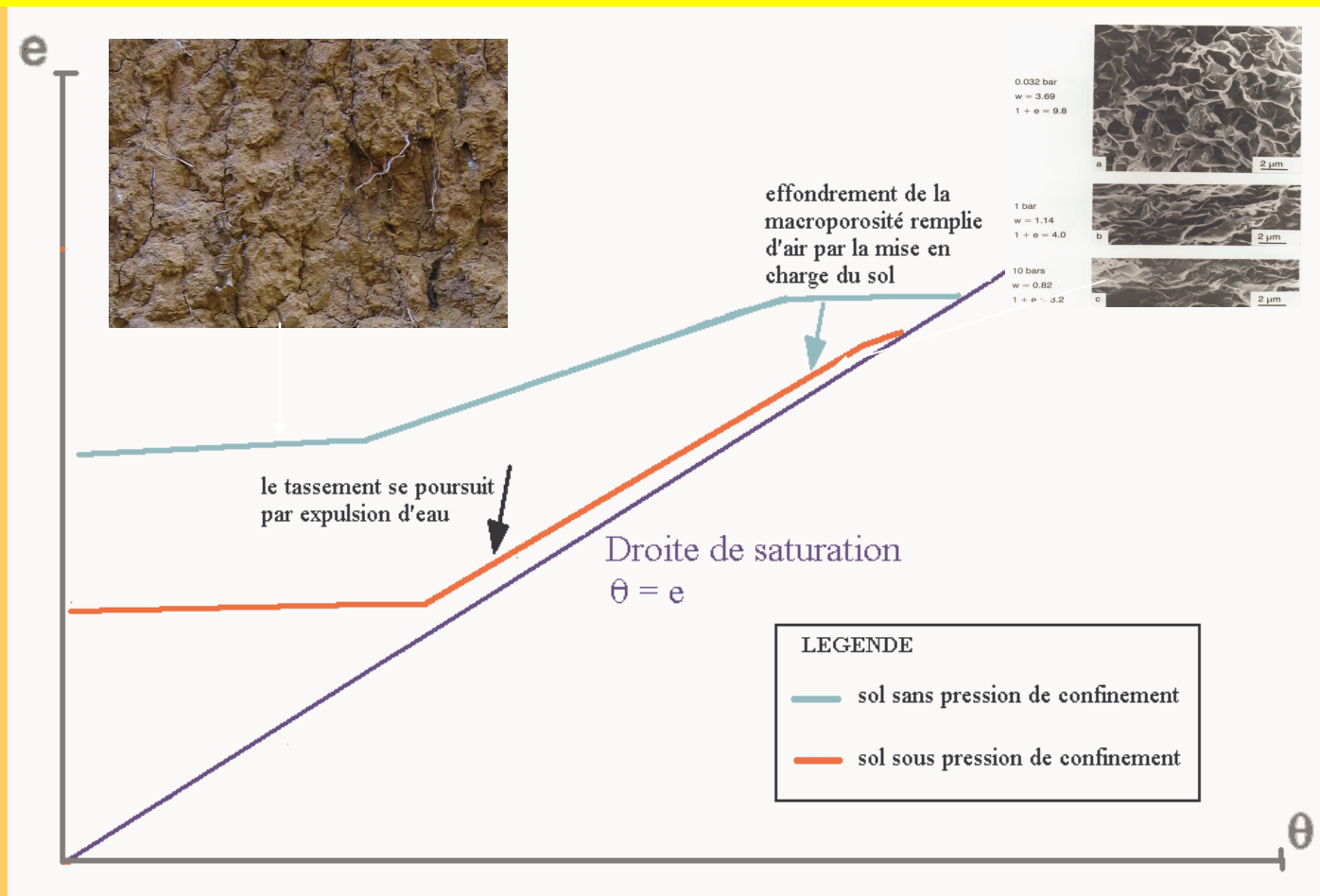
- 1. Le sol, son organisation et établissement de fonctions de pédotransfert,**
- 2. La plante et ses caractéristiques.**
- 3. Exemples de bilans hydriques en fonction de la végétation**
- 4. Quelle approche pour modéliser la variation de volume du sol?**

Importance de la structure



L'organisation du sol est associée à la vie biologique et aux phénomènes physiques (dessiccation, pression mécanique). Observation au microscope optique (Bruand, 1985). Les biopores sont essentiels dans l'aération et les propriétés de circulation des fluides

Etude de la courbe de retrait des sols: effet conjugué de pressions mécaniques et de la dessiccation



- La pente peut être modifiée selon l'état de contrainte subi par le sol (fermeture de la macroporosité et expulsion d'air)

Variation de volume pour différents teneurs en argiles en fonction du potentiel de l'eau

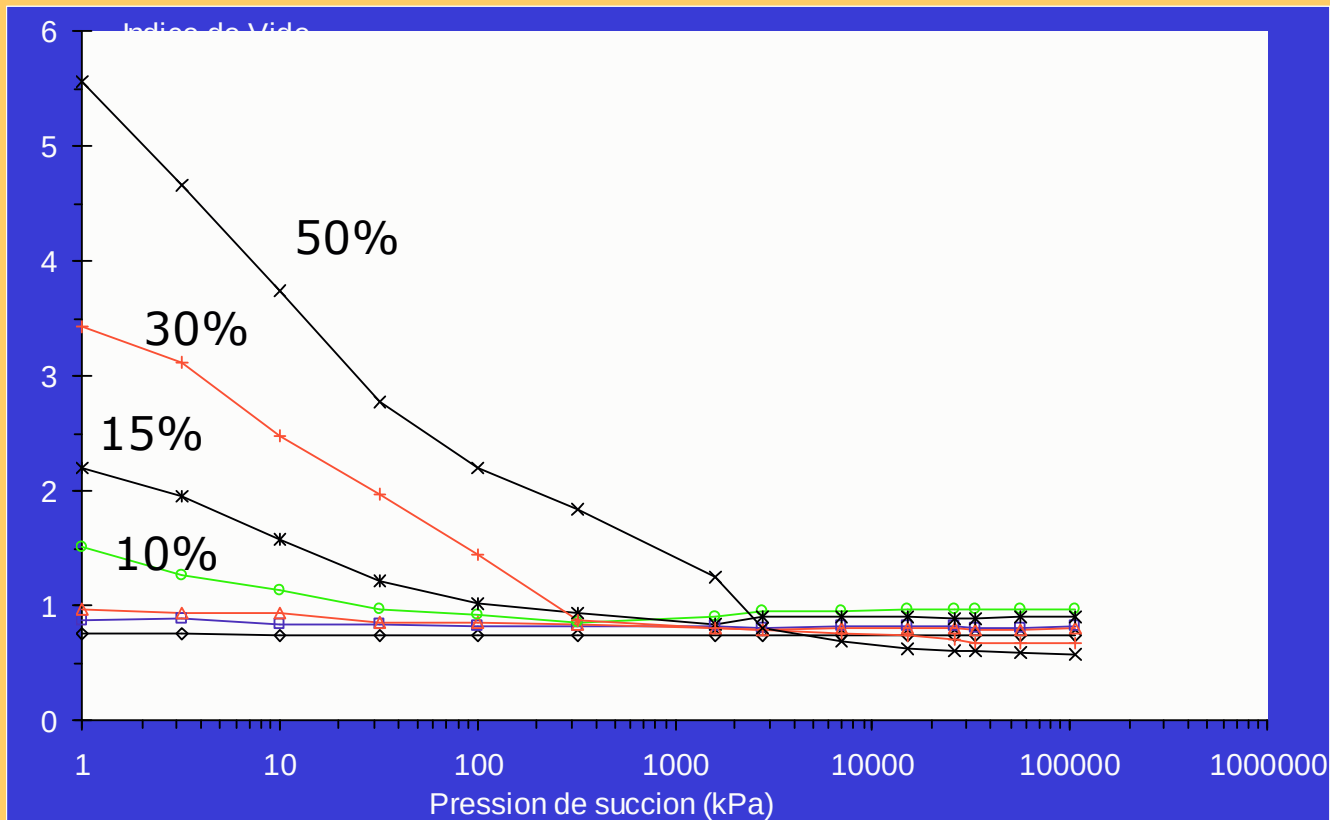


Fig. 5 : Variation de l'indice de vide en fonction de la pression de succion pour les différents mélanges sable-argile.

Structure du sol après dessèchement, argile ~ 30% (photo LMB)

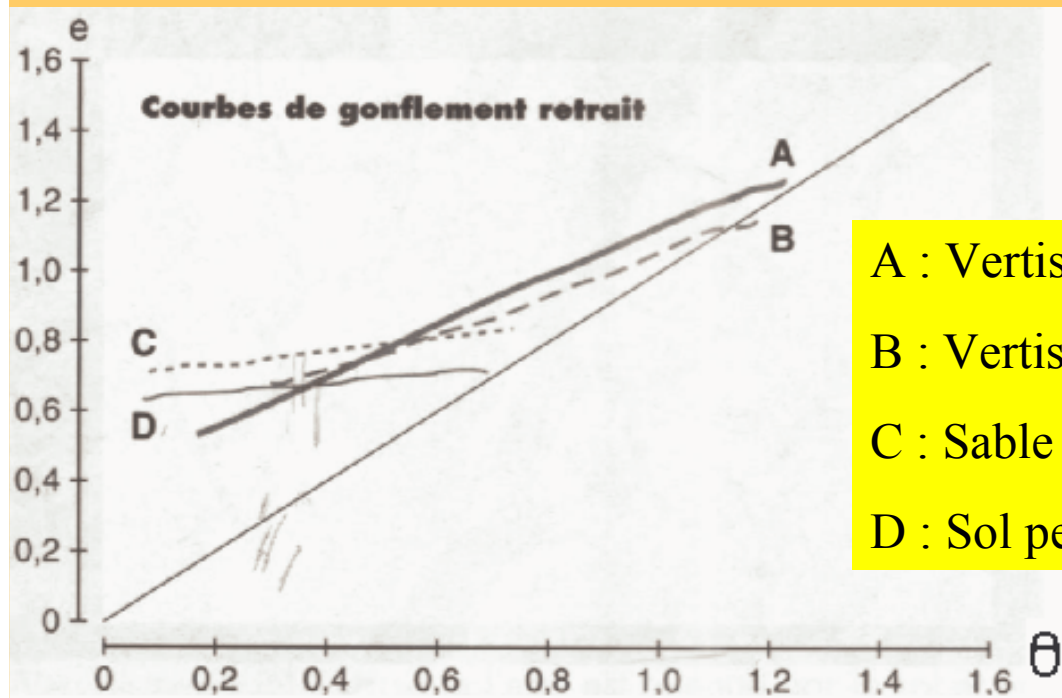


Les voies de recherche dans ce domaine :

mettre au point des modèles de prévision des variations de volume des sols en fonction des modifications de leur teneur en eau

- Principe de base : modélisation de l'allure de la courbe de retrait

- *pente différente selon nature du sol :*
vertisol $\rightarrow$ pente de 1, sable $\rightarrow$ pente = 0



A : Vertisol de la Guadeloupe

B : Vertisol de la Guadeloupe

C : Sable limoneux de Versailles

D : Sol peu poreux de Vittel

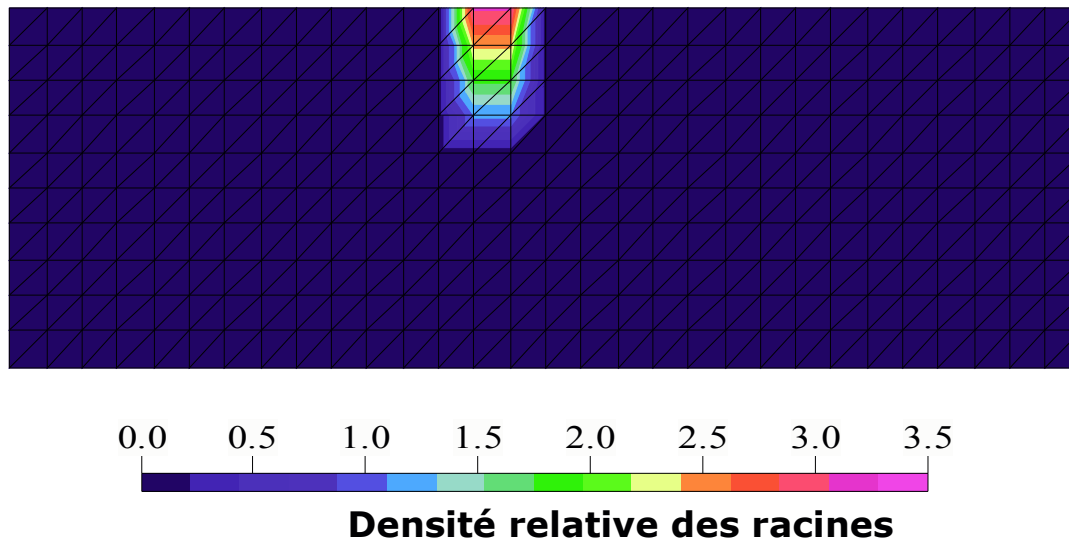
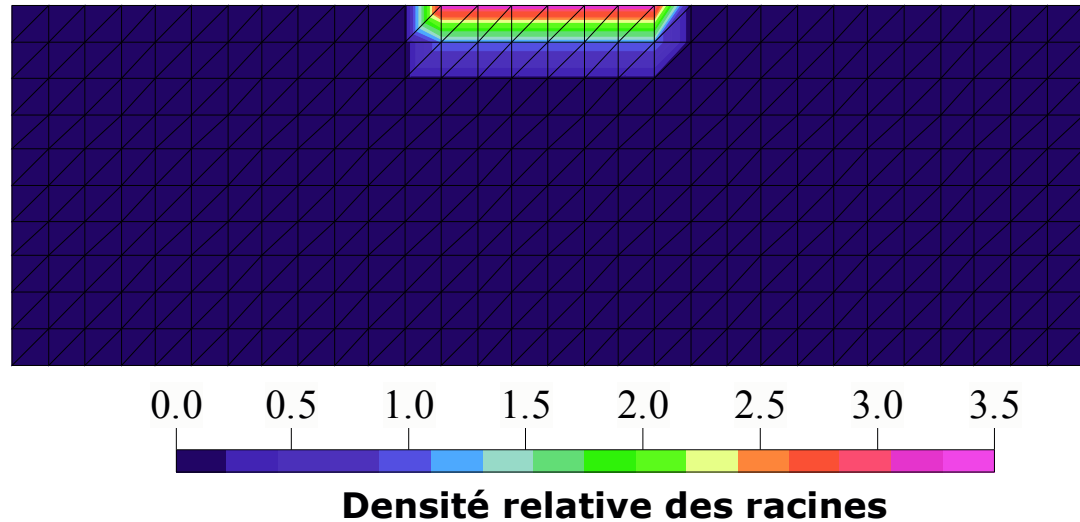
pente

Michel et al. ejss, 2002

Modélisation sous deux années contrastées (année sèche ou humide)

■ Caractéristiques racinaires

Configuration du système racinaire traçante sur le profil de sol



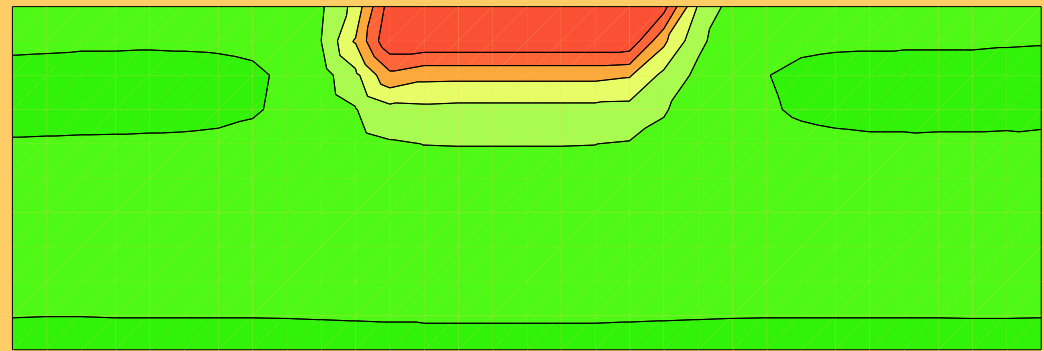
Configuration du système racinaire pivotante sur le profil de sol

Modélisation d'un système racinaire sous deux années contrastées

- **Simulation des profils de teneur en eau du Planosol de La Bouzule**

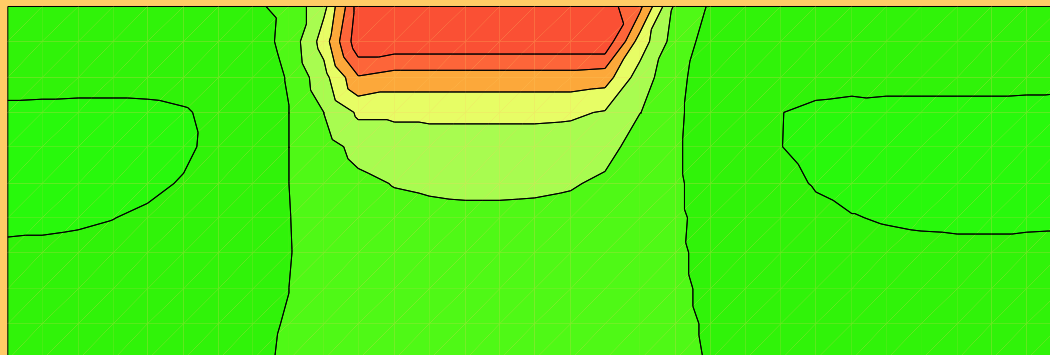
Année 2003

**Profil de teneur en
eau du 113e jour (23
avril)
Rayon d'influence: 7m**



0.12 0.14 0.16 0.18 0.20 0.22 0.24 0.26 0.28 0.30

Année 1998



0.12 0.14 0.16 0.18 0.20 0.22 0.24 0.26 0.28 0.30 0.32

**Profil de teneur en eau
dans le sol (243ème
jour)
Rayon d'influence: 6m**

Conclusion

- La modélisation permet de mettre en avant le phénomène de gonflement retrait de manière quantitative.
- Cependant la modélisation est actuellement limitée par certains aspects non pris en compte:
 - l'impact des racines sur la structure et la chimie des argiles
 - le type d'argile considéré (chimie)
 - l'évolution de la réserve en eau

perspectives

- La modélisation doit permettre d'anticiper sur les éventuels mouvements de terrain, afin de prédire l'imminence d'un sinistre.
- Sensibilisation des géotechniciens sur ce phénomène
- élaboration de nouvelles normes