

### Chapitre III. L'organisation morphologique des sols

#### 1. Les organisations élémentaires

L'assemblage des constituants élémentaires du sol donne ce qu'on appelle des organisations élémentaires.

Ce sont des volumes pédologiques qui assemblent les constituants ; ces organisations sont partiellement visibles à l'œil nu, partiellement à l'aide de microscopes. A l'œil nu, les principales organisations élémentaires que l'on peut reconnaître et décrire dans les fosses d'observation (profils) sont : agrégats, vides, concentrations de constituants (revêtements, nodules ...), couleurs, traces d'activité biologique.

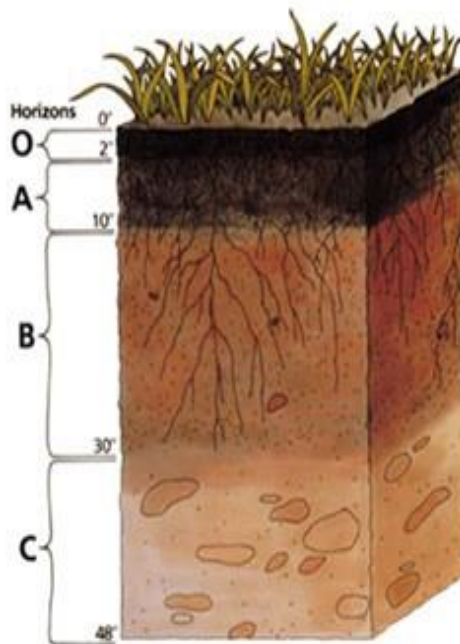
#### 2. Profil et horizons

Les processus d'altération, d'humidification et de différenciation aboutissent à l'apparition de couches superposées, plus ou moins distinctes, et différent l'une de l'autre par un ou plusieurs caractères: appauvrissement ou enrichissement en certaines substances, texture, structure, etc... Ces diverses couches sont les HORIZONS, dont l'ensemble constitue le PROFIL DU SOL.

On peut les définir ainsi:

- **Le profil pédologique :** est constitué par une succession de couches appelées horizons résultant de transformations, de migrations ou de déplacements, généralement verticaux, de certains éléments constituants du sol. Ces différentes couches plus ou moins nombreuses, individualisées sur une profondeur d'environ 1,25 m, sont le reflet de l'évolution du sol, de sa formation.

Chacun des horizons est désigné par un code conventionnel composé de lettre(s) et parfois de chiffres



Le nombre d'horizons, leur épaisseur, leur couleur et leur composition varient selon la nature des roches qui composent le sol.

Ce nombre varie également selon les conditions climatiques, les végétaux et les autres organismes vivants présents, l'âge et le relief du sol.

En étudiant le profil d'un sol, on peut retracer les événements qui ont menés à sa formation.

Dans un sol mature, on distingue quatre principaux horizons. Par convention, on désigne ces horizons par les lettres O, A, B et C, de la surface jusqu'à la roche-mère.

- **Horizon O :**

Il s'agit de la couche superficielle comprenant des débris végétaux et de l'humus, ce que l'on nomme « litière ». L'humus est riche en éléments nutritifs puisque les décomposeurs dégradent les débris. Ces éléments nutritifs sont entraînés vers les horizons inférieurs par les eaux de pluie.

- **Horizon A :**

Il s'agit d'une couche composée d'un mélange d'humus et de particules de roches. On qualifie ce mélange de « terre arable ». Sa couleur est généralement foncée. Comme elle est riche en matière organique, cette couche est très importante pour la croissance des végétaux. Son aération est assurée par des animaux fousseurs. Elle est fortement soumise à l'érosion.

**Horizon B :**

Cette couche est très pauvre en humus, mais très riche en éléments minéraux tels que les oxydes de fer et les silicates. Il est souvent de couleur plus pâle que l'horizon A ou encore de teinte rougeâtre. Les débris provenant des horizons supérieurs s'y accumulent.

**Horizon C :**

On note l'absence de matière organique dans cette couche uniquement composée de roche-mère altérée et fragmentée par des facteurs physiques et chimiques. Il peut être sableux, argileux ou dur.

### **3. La Couverture pédologique**

Le terme couverture pédologique est utilisé en pédologie pour désigner le sol ou les sols qui recouvrent plus ou moins en continu l'espace terrestre.

Située entre l'écorce terrestre (partie supérieure de la lithosphère) et l'atmosphère, la couverture pédologique est en évolution constante.

Les sols qui la composent sont des volumes pédologiques hétérogènes, tridimensionnels, qui se transforment constamment, différemment, plus ou moins rapidement avec le temps, d'un lieu géographique à l'autre, à l'amont et à l'aval d'une pente, sous une forêt, en plaine, selon la roche mère du sous-sol (schistes, calcaires, granites, ...), selon le climat, ou en fonction de son utilisation par l'homme... Continue, réduite, discontinue, la couverture pédologique peut s'épaissir, être submergée, recouverte de végétation, s'éroder et même parfois être absente comme dans les déserts.

#### 4. L'atmosphère du sol

Ce sont les gaz libres ou dissous dans le sol.

- Dans le sol, l'air occupe les pores qui ne sont pas occupés par l'eau lors de son retrait d'abord des plus grossiers ensuite des plus fins. Sa quantité dépend de la texture, la structure et la teneur en eau. Mais il est aussi en échange avec l'atmosphère extérieure.

Tableau. Composition de l'air du sol et de l'atmosphère extérieure

Constituant	Air du sol (%)	Atmosphère extérieure (%)
<b>Oxygène</b>	18 à 20,5 en sol bien aéré 10 après une pluie 2 en structure compacte 0 dans des horizons réduits	<b>21</b>
<b>Azote</b>	78,5 à 80	<b>78</b>
<b>Gaz carbonique</b>	carbonique 0,2 à 3,5 5 à 10 dans la rhizosphère	<b>0.03</b>
<b>Vapeur</b>	généralement saturé	variable

La composition de l'air dans le sol présente des fluctuations saisonnières liées à l'activité biologique : la respiration des racines, de la microflore aérobie et de la faune qui consomme l'O<sub>2</sub> et rejette CO<sub>2</sub>. La fixation d'azote, la nitrification et dénitrification bactériennes modifient les concentrations en N.

La production moyenne de CO<sub>2</sub> dans le sol est estimée à 15 t /ha/an, sa source principale est l'activité microbienne. Si la structure est aérée, cette production ne s'accumule pas car l'air se renouvelle par diffusion avec

#### 5. La couleur

La couleur est indicatrice des modalités d'évolution et essentiellement fonction de l'humus et du fer.

La couleur est clairement identifiée à l'aide d'une charte des couleurs ([Munsell Soil Color Chart](#))

Teinte (hue) : proportion de rouge (R) et de jaune (Y)

Intensité de la teinte (value) : variations de gris

Pureté de la teinte (chroma)

#### Chapitre IV/ Les propriétés chimiques du sol

Le sol possède la propriété de retenir diverses substances. En effet, les cations et les anions peuvent être retenus par le **complexe adsorbant du sol, c'est à dire l'ensemble des** colloïdes (substances humiques, argile, sesquioxides,...) dotés de charges négatives ou positives.

Les ions y seront retenus sous **forme échangeable. En d'autres termes, si on traite un sol par** une solution contenant des ions différents de ceux retenus par le sol, il y aura échange entre les ions du complexe adsorbant et ceux de la solution :



- L'absorption ionique dans le sol peut être considérée comme réversible :
- **les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibre avec la solution du sol :**

Toute modification de la composition de la solution du sol provoque un changement de cet équilibre par échange : certains ions du complexe passent en solution (désorption) et sont remplacés par d'autres ions, qui étaient auparavant en solution (adsorption).

Le pouvoir adsorbant est la propriété que possède le complexe adsorbant du sol, de retenir à sa surface des ions provenant de la solution du sol. Cette définition est illustrée dans le schéma ci-dessous (figure 9).

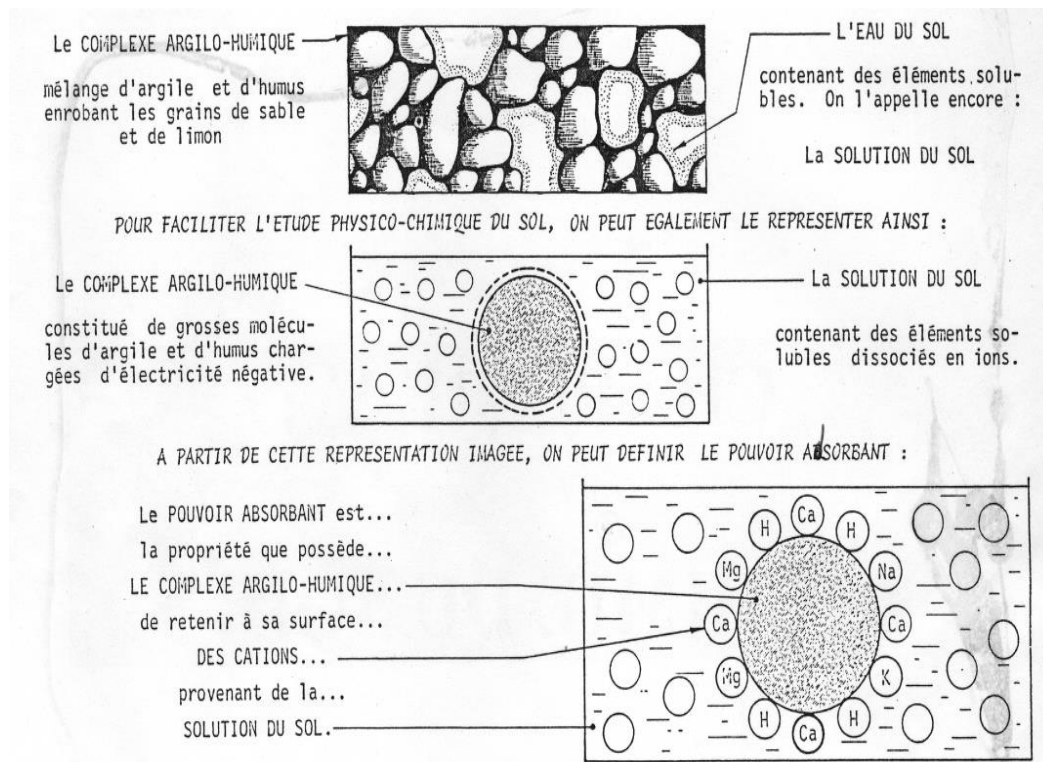


Figure 9. Le complexe adsorbant du sol (tiré de Soltner D. ,1992)

## I. La sorption et l'échange des cations :

### 1. Généralités :

Les cations sont fixés à la surface des colloïdes sur les plages où se développent des charges négatives.

### 2. Principaux facteurs réglant l'intensité des phénomènes de sorption et d'échange des cations :

#### a) la nature des colloïdes :

Le tableau suivant donne la capacité de sorption des principaux colloïdes négatifs à pH 7 :

Kaolinite	3 à 15 meq / 100 g
Halloysite	5 à 50 meq / 100 g
Montmorillonite	80 à 150 meq / 100 g
Illite	10 à 40 meq / 100 g
Chlorite	10 à 40 meq / 100 g
Vermiculite	100 à 150 meq / 100 g
Matière organique	100 à 450 meq / 100 g

***Mais, pour un même colloïde, les valeurs de CEC dépendent du pH :***

L'augmentation des valeurs de pH se traduit généralement, pour les colloïdes négatifs, par une augmentation des charges négatives. Inversement, l'acidification du sol se traduit par une diminution de la sorption cationique.

**b) la nature des ions :**

**La fixation des ions suit un ordre préférentiel : les cations habituellement fixés sur le complexe sont :**

1. les ions  $H^+$

2. les cations métalliques, parmi lesquels :

- certains sont fixés en quantité importante :  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ,...

- d'autres en quantité généralement plus limitée :

- \* l'ion ammonium  $NH_4^+$

\*les oligo-éléments :  $Mn^{++}$ ,  $Zn^{++}$ ,  $Cu^{++}$ ,...

\*le fer  $Fe^{++}$  ou  $Fe^{+++}$

\*l'aluminium  $Al^{+++}$

L'intensité avec laquelle ces ions sont retenus est en général la suivante :

- ANIONS:  $SO_4 > F > NO_3 > Cl > Br > \dots$
- CATIONS :  $Li < Na < Mg < Ca < Ba < Al < H$

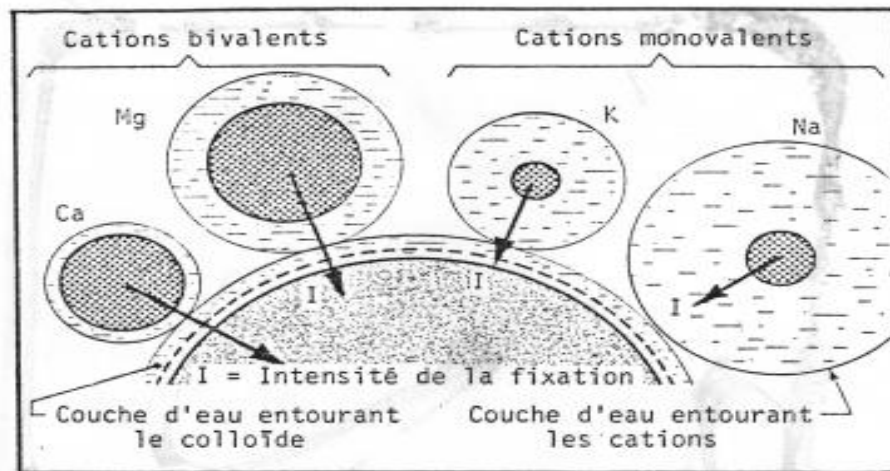
Un cation est donc déplaçable par tous ceux qui sont situés à sa droite. Mais cet ordre de préférence (*cations à égales concentrations dans la solution du sol*) est différent pour chaque type d'argile et pour l'humus.

Par exemple :

- Kaolinite  $Na < H < K < Mg < Ca < Ba$
- Montmorillonite  $Na < K < H < Mg < Ca < Ba$
- Mica  $Na < Mg < Ca < K < H < Ba$
- Acides humiques  $Na < K < Mg < Ca < Ba$

**Cet ordre préférentiel de fixation, d'une grande importance pédologique, peut s'expliquer ainsi :**

- **l'intensité de fixation dépend de la valence et de l'hydratation des ions**
  - Les ions bivalents  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  sont plus énergiquement retenus que les ions monovalents  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,...
  - Les ions faiblement hydratés ( $\text{Mg}^{++}$  et surtout  $\text{Ca}^{++}$ ), c'est à dire entourés d'une faible couche d'eau sont mieux fixés que les ions fortement hydratés ( $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ )
- pour chaque ion, il existe un équilibre entre la quantité de cet ion fixée sur le complexe adsorbant et la concentration de cet ion dans la solution du sol.



**L'INTENSITÉ DE FIXATION DES CATIONS dépend de leur valence et de leur hydratation.**

- Les ions bivalents, Ca et Mg, sont plus énergiquement fixés que les monovalents.
- Plus les cations sont entourés d'une couche d'eau importante, moins ils peuvent s'approcher des colloïdes. Pour cette raison, le sodium, bien qu'étant un ion flocculant, assure la flocculation la moins stable.

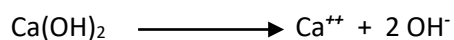
Figure 10. La fixation des cations : valence et degré d'hydratation (tiré de Soltner D. ,1992)

### 3. Le mécanisme de l'échange des cations :

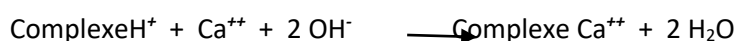
#### a) Deux exemples d'échange de cations :

- **Le remplacement des ions  $\text{H}^+$  par des cations  $\text{Ca}^{++}$  :**

Lorsque l'on introduit de la chaux dans un sol, ses molécules se dissocient :



La concentration d'ions  $\text{Ca}^{++}$  augmente dans la solution du sol et cette concentration se communique au complexe, par exemple un complexe argilo-humique abondamment garni d'ions  $\text{H}^+$  : un cation  $\text{Ca}^{++}$  prend la place de deux ions  $\text{H}^+$ , qui se combinent aux anions  $\text{OH}^-$  apportés par la chaux pour former de l'eau :

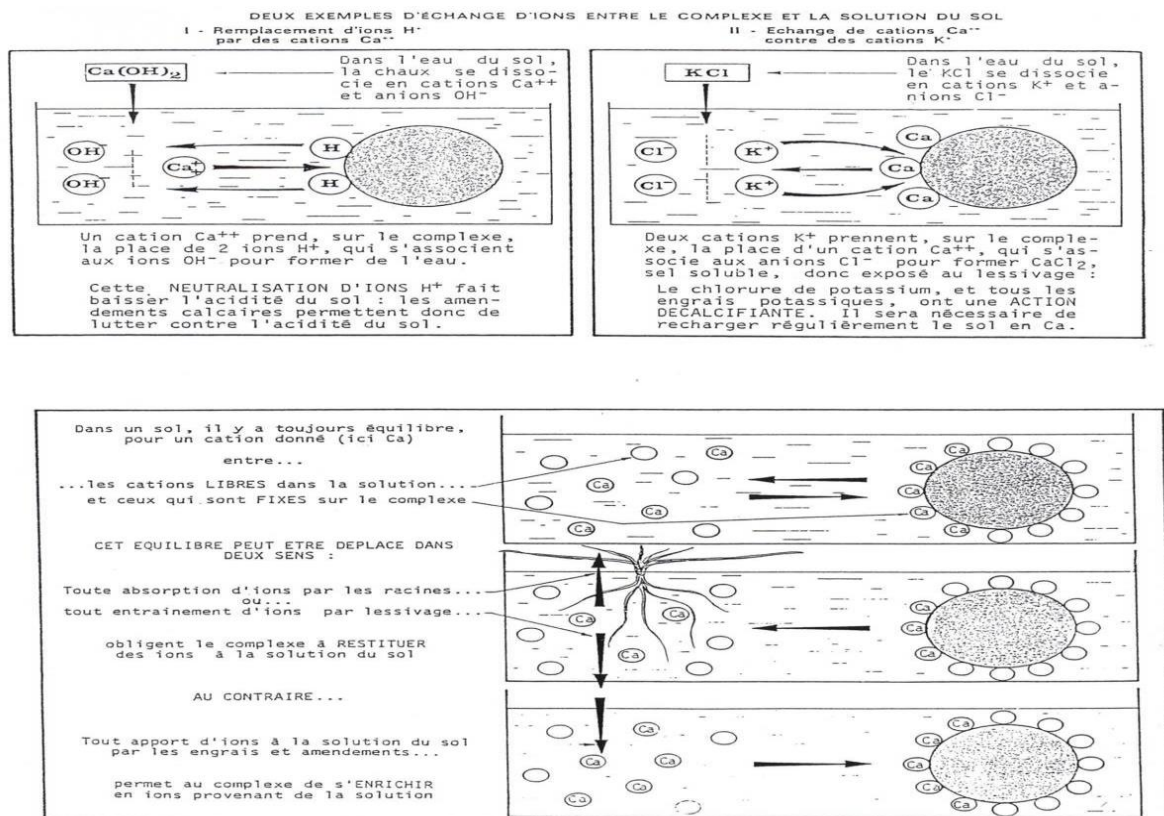


- **L'échange de cations  $\text{Ca}^{++}$  contre des cations  $\text{K}^+$  :**

Si dans ce sol enrichi en calcium par le chaulage, on introduit du chlorure de potassium (KCl, engrais potassique), ce sel se dissout, puis se dissocie en anions  $\text{Cl}^-$  et cations  $\text{K}^+$ . Ces derniers, augmentant la concentration en ions  $\text{K}^+$  de la solution, provoquent un échange avec le complexe : ils prennent sur celui-ci la place d'ions  $\text{Ca}^{++}$ , à raison de 2  $\text{K}^+$  pour 1  $\text{Ca}^{++}$ .

Ces cations  $\text{Ca}^{++}$  remis en solution forment, avec les anions  $\text{Cl}^-$  du  $\text{CaCl}_2$ , sel soluble qui peut être lessivé : cet apport d'engrais potassique a provoqué une décalcification du sol :

**C'est l'action décalcifiante des engrais potassiques (voir figure 11 ci-dessous).**



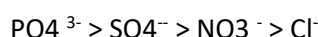
**Figure 11. Deux exemples d'échanges entre le complexe adsorbant et la solution du sol (tiré de Soltner D. ,1992)**

## II. La sorption et l'échange des anions :

Dans les eaux de drainage, on trouve beaucoup d'anions  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,....

Apparemment donc ces ions ne sont pas retenus par le pouvoir adsorbant du sol. Il est connu que les nitrates sont très facilement perdus par lessivage.

Pourtant, les anions  $\text{PO}_4^{3-}$  sont très bien retenus. Certains anions peuvent donc être fixés, et leur énergie de fixation serait la suivante, par ordre décroissant :





Plusieurs mécanismes expliquent cette fixation (voir figure 12) :

- la fixation sur les hydroxydes de fer et d'aluminium, colloïdes positifs liés à l'argile, en échange contre des ions  $\text{OH}^-$ ,
- fixation sur quelques valences positives des argiles, en échange contre des ions  $\text{OH}^-$ , ou sur des liaisons de bordure ( $\text{Al}^{+++}$ ),
- fixation sur l'argile ou l'humus par l'intermédiaire d'ions  $\text{Ca}^{++}$  (ponts calciques).

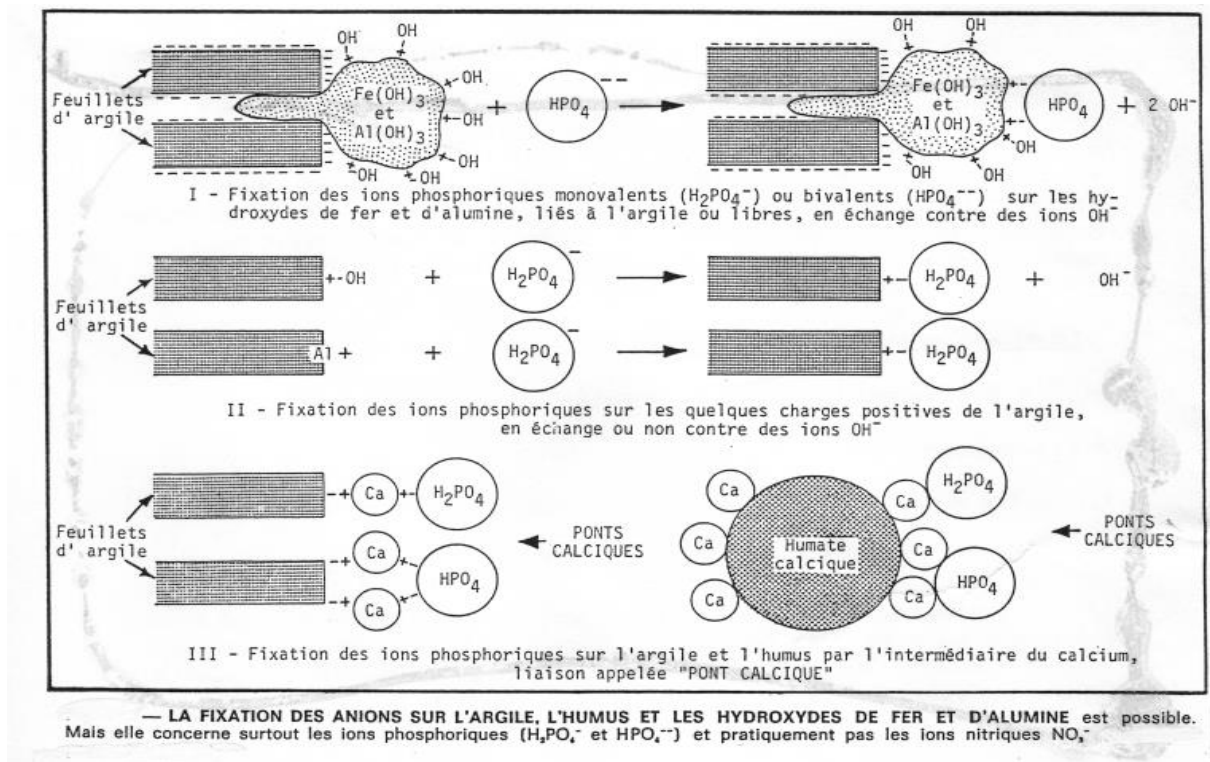


Figure 12. Les modes de fixation des anions (tiré de Soltner D. ,1992)