



INRGREF



DG/ACTA



Qatar Environment & Energy
Research Institute

Member of Qatar Foundation

QEERI



IRD

ACTION THEMATIQUE STRUCTURANTE

(Soutien de la DSF/IRD)

Séminaire de formation en pédologie hydrostructurale :
Méthodologies de caractérisation & Modélisation hydrostructurale du
sol pour la gestion des eaux et des sols
en agriculture irriguée et/ou de précision

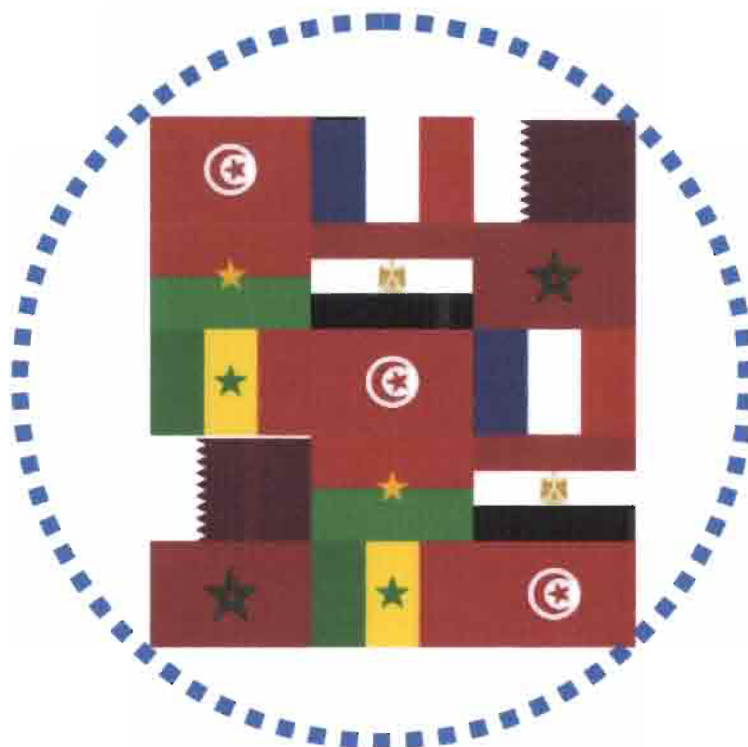
ACTES

THEMATIC STRUCTURED ACTION

(Supported by DSF/IRD)

Training Seminar on hydrostructural Pedology :
Methodologies for characterization and Soil hydrostructural
Modeling for water and soils management
in irrigated and/or precise agriculture

PROCEEDINGS



M. HACHICHA (INRGREF), E. BRAUDEAU (QEERI) & J.-P. MONTOROI (IRD)

Décembre 2011

ACTION THEMATIQUE STRUCTURANTE

Séminaire de formation en pédologie hydrostructurale :

Méthodologies de caractérisation & Modélisation hydrostructurale du sol pour la gestion des eaux et des sols en agriculture irriguée et/ou de précision

Organisé par l'IRD, l'INRGREF, le QEERI et la DG/ACTA – D/Sols
Tunis, du 28/11 au 2/12/2011

THEMATIC STRUCTURED ACTION

Training Seminar on hydrostructural Pedology :

Methodologies for characterization and Soil hydrostructural Modeling for water and soils management in irrigated and/or precise agriculture

Organized by IRD, INRGREF, QEERI and DG/ACTA – D/Sols
Tunis, from 28/11 to 2/12/2011



REMERCIEMENTS / ACKNOWLEDGMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce séminaire :

We would like to thank everyone who participated in the creation of this seminar:

Benjamin BUCLET, DSF/IRD Marseille
Abdelaziz ZAÏRI, DG INRGREF,
Abdellah CHERID , DG 'ACTA
Patrick THONNEAU, IRD Tunisie
Hédi HAMROUNI, D/Sols, Tunisie

Et les conférenciers, invités et participants suivants :
And the following speakers, guests and participants:

Georges NIZINSKI, BIOEMCO IRD France
Marc LOINTIER, BIOEMCO IRD France
Eric CASELLAS, INRA France
Yasir MOHIELDEEN, QEERI Qatar
Mariam SOU, Burkina Faso
Alaa ZAGHLOUL, NRC Egypte
Douma KOBOR, Université Ziguinchor Sénégal
Zine El Abidine EL MORJANI, Maroc
Amor MTIMET, ATSS Tunisie
Abdessatar HATIRA, FST Tunisie
Chafik ZIDI, DG/ACTA Tunisie
Chedly DEROUICH, DG/ACTA Tunisie
Sabri KANZARI, INRGREF Tunisie
Yosra MEKHNINI, INRGREF Tunisie
Khaoula KHASKOUSSI, INRGREF Tunisie
Dalila SOUGUIR, INRGREF Tunisie
Mohamed LASSOUED, INRGREF Tunisie
Rafla ATTIA, DG ACTA Tunisie
Leila BEN DHIA, DG ACTA Tunisie
Sadok AGREBAOUI, DG ACTA Tunisie
Bacim DRIDI, DG ACTA Tunisie
Samira YAHYAOUÏ, INRGREF Tunisie

Et le personnel de l'INRGREF, Mongi FARHAT et Ali DRIDI et de la mission IRD à Tunis, Mme Anne-Marie OUERTANI et Mme Rim OUNAI-BEN NEJMA.

And the INRGREF staff, Mongi FARHAT and Ali DRIDI and from the IRD mission to Tunisia, Mrs Anne-Marie OUERTANI and Mrs Rim OUNAI-BEN NEJMA.

ABBREVIATIONS

INRGREF : Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, Tunisie.

IRD: Institut de Recherche pour le Développement, France.

DG/ACTA: Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles, Tunisie.

QEERI: Qatar Environment & Energy Research Institute, Qatar.

SOMMAIRE / SUMMARY

OBJECTIFS PRINCIPAUX, CONTEXTE D'ACTION, METHODOLOGIE, RESULTATS ET DURABILITE

M. Hachicha et E. Braudeau

PEDOLOGIE HYDROSTRUCTURALE / HYDROSTRUCTURAL PEDOLGY

Pédologie hydrostructurale - Mesure des paramètres caractéristiques de la pédostructure en laboratoire.

E. Braudeau

Hydrostructural Pedology at the Heart of Environmental Sciences

E. Braudeau and R. Mohtar

APES - An example of Kamel® model integration

E. Casellas

Exemples d'application de la rétractométrie en Tunisie:

- **Mesure des caractéristiques hydro-physiques des sols par la méthode rétractométrique au Laboratoire de la Direction des Ressources en Sols**
Ch. Zidi
- **SIRS des Sols Irrigués de la BVM**
Ch. Derouich
- **Gestion et étude des sols irrigués tunisiens (GEST)**
M. Hachicha, Ch. Zidi et H. Hamrouni

APPROCHES COMPLEMENTAIRES / COMPLEMENTARIES APPROACHES

Earth Observation

M. Lointier

Near-surface geophysics - Applied to soil mapping

J.P. Montoroi

Modélisation des systèmes sol-plante-atmosphère, instrumentation

G. Nizinski

Caractérisation et simulation du mouvement de l'eau et du transfert des sels – Cas de la région semi-aride Bouhajla (Kairouan – Tunisie Centrale)

S. Kanzari et M. Hachicha

PRESENTATIONS DES PARTICIPANTS / PARTICIPATIONS PRESENTATIONS

Sustainable management of adverse impacts on farming and soil ecosystem associated with long term use of low quality irrigation water

A. Zaghloul

Research field on materials sciences

D. Kobor

Quelques applications des SIG dans les domaines de la gestion de l'environnement, de la gestion des risques naturels et santé publique

Z. El Morjani

Eaux usées urbaines en irrigation

M. Sou

LE SEMINAIRE EN PHOTOS / THE SEMINAR IN PHOTOS

PROGRAMME

Lundi 28 novembre 2011

- 9h 00 – 10h 00 : Ouverture du séminaire, Présentation du programme, son objectif et les attentes
- 10h 00 – 11h 30 : Pédologie Hydrostructurale : théorie et concepts - E. Braudeau
- 11h 30 – 12h 00 : Pause café
- 12h 00 – 13h 00 : Présentations des invités
- 13h 00 – 14h 00 : Pédologie Hydrostructurale : perspectives et discussion - E. Braudeau et H. Boukcim

Mardi 29 novembre 2011

- 9h 00 – 9h 45 : Télédétection – M. Lointier
- 9h 45 – 10h 30 : Géophysique de subsurface appliquée à la cartographie - J.-P. Montoro
- 10h 30 – 11h 30 : Modélisation des systèmes sol-plante-atmosphère, instrumentation - G. Nizinski
- 11h 30 – 12h 00 : Pause café
- 12h 00 – 14h 00 : Présentations des invités et discussions

Mercredi 30 novembre 2011

- 9h 00 – 10h 00 : Cartographie et système d'information à référence spatiale de l'organisation des sols (SIRS-Sol, D/Sols) – Ch. Derouich et A. Loukil
- 10h 00 - 11h 00 : Caractérisation et modélisation des transferts d'eau et de sels en milieu semi-aride tunisien - S. Kanzari et M. Hachicha
- 11h 00 - 11h 30 : Pause café
- 11h30 – 12h30 : Aperçu sur Le Lab. de caractérisation hydrostructurale des sols et quelques applications – Ch. Zidi, M. Hachicha et H. Hamrouni
- 12h30 – 14h 00 : Visite du Laboratoire de caractérisation hydrostructurale des sols - Direction des sols- Ch. Zidi, M. Hachicha et H. Hamrouni

Jeudi 1 décembre 2011

- 9h 00 – 14h 00 : Sortie de terrain dans la Basse Vallée de la Mejerda – M. Hachicha
Exemples d'Aménagement, Gestion et Suivi d'un périmètre irrigué affecté par la salinité et l'hydromorphie (Périmètre Cebala) : relation laboratoire - terrain pour la modélisation et la gestion des systèmes irrigués (expérimentation, instruments de mesure et suivi des eaux et des sols)

Vendredi 2 décembre 2011

- 9h 00 – 10h 30 : Modèle sol-structure-eau Kamel[®]: principe et cadre d'utilisation - E. Braudeau
- 10h 30 – 11h 00 : Pause café
- 11h 00 – 14h 00 : Initiation au modèle Kamel[®] - E. Caselas

Samedi 3 décembre 2011

- 9h 00 – 11h 00 : Table ronde : synthèse, évaluation et perspectives
- 11h 00 – 11h 30 : Pause café
- 11h 30 – 12h 00 : Clôture

PROGRAM

09h00 – 10h00: Opening of the Seminar: program presentation, its purpose and expectations
10h00 – 11h30: Hydrostructural Pedology: theory and concepts - E. Braudeau
11h30 – 12h00: Coffee break
12h00 – 13h00: Attendees presentation
13h 00 – 14h00: Hydrostructural Pedology: perspectives and discussion - E. Braudeau and H. Boukcim

09h00 – 9h45: Remote sensing - M. Lointier
09h45 – 10h30: Geophysics applied to subsurface mapping - J.-P. Montoroi
10h30 – 11h30: Modeling of soil-plant-atmosphere systems, instrumentation - G. Nizinski
11h30 – 12h00: Coffee break
12h00 – 14h00: Attendees presentations and discussion

09h00 – 10h00: Cartography and Geographic Information System with spatial organization of soils (SIRS-Sol, Direction des Sols) – Ch. Derouich and A. Loukil
10h00 - 11h00: Water and salt transfer characterization and modeling in semi-arid Tunisian regions - S. Kanzari and M. Hachicha
11h00 - 11h30: Coffee break
11h30 – 12h30: Overview of the Soil Hydrostructural characterization laboratory and some applications in Tunisia – Ch. Zidi, M. Hachicha and H. Hamrouni
12h30 – 14h00: Visit to the laboratory of hydrostructural pedology at Direction des Sols - Ch. Zidi, M. Hachicha et H. Hamrouni

09h00 – 14h00: Field trip in the lower valley of the Mejerdah River – M. Hachicha
Examples of planning, management and monitoring of an irrigated area affected by salinity and waterlogging (Cebala): laboratory-field relationship for modeling and management of irrigation systems (testing, measuring and water and soil monitoring)

09h00 – 10h30: Modeling of soil-structure-water system (Kamel® Model): principles and use framework - E. Braudeau
10h30 – 11h00: Coffee break
11h 00 – 14h00: Introduction to Kamel® model - E. Caselas

9h00 – 11h00: Round table: synthesis, evaluation and perspectives
11h00 – 11h30: Coffee break
11h30 – 12h00: Closing session

**OBJECTIFS PRINCIPAUX, CONTEXTE D'ACTION,
METHODOLOGIE, RESULTATS ET DURABILITE**

**PRINCIPALS OBJECTIVES, ACTION CONTEXT,
METHODOLOGY, RESULTS AND SUSTAINABILITY**

OBJECTIFS PRINCIPAUX

L'objectif principal du séminaire est la diffusion du nouveau paradigme de la **Pédologie Hydrostructurale** auprès des enseignants et jeunes chercheurs en sciences agro-environnementales à travers des cours et une formation sur :

- L'approche physique et systémique de l'organisation des sols et du milieu naturel;
- Les méthodologies de laboratoire pour la caractérisation physique des sols et les expérimentations de couplage physique et systémique de la biologie avec le milieu organisé du sol ;
- La cartographie et systèmes d'information de l'organisation des sols.

CONTEXTE D'ACTION

La pédologie hydrostructurale est une nouvelle discipline en sciences de la terre qui se distingue de l'hydro-pédologie (plus connue) par son domaine d'étude : l'intérieur du sol, milieu physique organisé en plusieurs niveaux fonctionnels emboîtés et la répartition spatiale de ces organisations (cartographie pédologique). Elle se situe donc aux frontières internes de l'hydro-pédologie dont l'investigation ne concerne que l'organisation de surface du milieu naturel (sols et eaux de surface), l'intérieur du sol étant réduit à une boîte noire dans les équations de transferts. Elle complète au contraire la pédologie classique en dotant celle-ci d'une physique (thermodynamique et hydrodynamique) du milieu sol à ses différents niveaux d'organisation : les peds primaires, la pédostructure, l'horizon de sol et le pédon représentatif de l'unité cartographique primaire de sol.

L'émergence de cette nouvelle discipline parmi les autres disciplines ou spécialités des sciences agroenvironnementales (AE), *permet d'envisager, dans ce vaste secteur scientifique, une interdisciplinarité véritable* qui ne peut exister sans elle. Le sol constitue en effet le milieu physique organisé et multi-échelles qui conditionne directement en termes d'habitat ou support nutritif (pédostructure), et d'ambiance climatique (pédoclimat), les organismes vivants et les processus biotiques et abiotiques qui s'y développent, objets d'étude ces disciplines. La connaissance des sols en ces termes, pédostructure, pédoclimat, ouvre accès aux investigations expérimentales en laboratoire de la relation bio-sol, et au transfert d'échelle labo-terrain pour la modélisation spatialisée des résultats (Braudeau et Mohtar, 2009).

Il est donc urgent de faire connaître les principes et les méthodologies de caractérisation et modélisation des sols de ce nouveau paradigme aux acteurs du développement. Ceci pour être en mesure de s'approprier, localement, des moyens scientifiques et techniques *nécessaires à une gestion appropriées de leurs ressources en eaux et en sols dans les contextes locaux d'agriculture de précision (irrigation), de spécificité des sols et sous des contraintes climatiques propres à chaque situation*. En effet, dans le contexte de rareté et de raréfaction des ressources en eau et en sols et éventuellement d'impacts négatifs sur ces ressources des changements climatiques, plusieurs régions seront incapables de satisfaire les besoins d'une population en croissance continue sans recourir à un certain nombre de mesures pour l'amélioration de la productivité de l'eau et des terres. L'innovation et la recherche dans ce domaine, sur les ressources locales, contribuera à optimiser la gestion durable de ces ressources.

L'atelier est le prolongement d'un symposium sur « l'eau en agriculture dans le contexte du changement climatique » qui a eu lieu en mai 2010 à Purdue University sous l'égide de l'ambassade de France et du GEP américain. Les porteurs du projet et plusieurs chercheurs du sud invités par l'IRD ont présenté le rôle important que représente la connaissance des sols et leur modélisation hydrostructurale et thermodynamique dans cette problématique de l'eau en agriculture. La pertinence de cette formation a été ressentie par l'ensemble des chercheurs présents. Ce projet de formation n'est pas non plus sans rapport avec la volonté de « rafraîchir » l'enseignement sur les sols et l'eau. Enfin, il faut souligner la collaboration de longue date sur ce thème sols et eaux avec les institutions tunisiennes impliquées dans l'atelier, en l'occurrence l'INRGREF et la Direction des Sols. En effet, des conventions sont périodiquement établies dans le cadre de la convention cadre IRD/IRESA. Dans ce sens, plusieurs actions de recherche ont été menées sur la caractérisation et la gestion des ressources en sols, la dégradation des sols, l'optimisation de la gestion des ressources en eau non conventionnelles (eau salée et eau usée traitée) à côté de la formation diplomate et le renforcement de la capacité des chercheurs et ingénieurs tunisiens et français. Cet atelier et le projet en cours de montage permet de renforcer le partenariat institutionnel avec les partenaires tunisiens. Au-delà, l'INRGREF qui assure depuis quelques années la formation de chercheurs, ingénieurs et cadres des pays africains francophones sur les thèmes de la gestion des eaux salées et des eaux usées traitées en agriculture et le pilotage de l'irrigation avec ces eaux, constituera un point focal des formations en gestion des ressources en eau et en sols et le relais entre la France et les pays africains.

METHODOLOGIE

Le projet de cet atelier est conforme aux objectifs du DSF/IRD pour le renforcement de la compétence des chercheurs et enseignants du Sud. Les éléments novateurs sont de plusieurs ordres :

- le transfert technologique des méthodes nouvelles de caractérisation et modélisation hydrostructurale des sols : concepts, approches et techniques.
- la remise en état d'une unité d'analyse hydrostructurale des sols en Tunisie, qui pourrait être la plate forme de recherche et de formation future pour la Tunisie et/ou l'IRD/Sud-Sud.
- la création d'un réseau des partenaires Sud de l'IRD dans le domaine des sciences du sol : concertation, échange d'expériences et mobilité Sud-Sud des chercheurs, enseignants et étudiants.

Pour les bénéficiaires, les chercheurs, enseignants et étudiants en sciences du sol, gestion des eaux et des sols, science de l'environnement, ont été directement concernés. Cela se répercute indirectement sur les ingénieurs et cadres techniques du développement. D'ailleurs, à l'image de plusieurs autres pays du Sud, les deux institutions tunisiennes impliquées dans l'atelier appartiennent à ces deux structures : l'INRGREF à la recherche et la Direction des Sols au développement.

La formation a compris les actions suivantes : (i) aspect théorique : L'approche systémique et thermodynamique du sol, les méthodes de caractérisation hydrostructurales du sol et les méthodologies de modélisation du système sol-eau ; et (ii) aspect appliqué : exemple du périmètre irrigué aux eaux usées traitées salées de Cebala Borj-Touil : Cas d'étude – Aspects pratiques : approche d'étude du suivi et de la gestion du périmètre (terrain et labo), conception du SIRS Cebala (cartographie

pédologique, aménagement, dispositif de contrôle), simulation des cultures et des besoins en eau, avec la visite du périmètre et de l'aménagement hydro-agricole et la visite du Laboratoire d'analyse d'hydrostructurale.

RESULTATS ET DURABILITE

Le séminaire s'est déroulé au-delà du programme initial. Le programme très exhaustif et riche par des présentations détaillées d'une part sur la pédologie hydrostructurale (avec un rappel théorique très détaillé) ainsi que d'autres présentations sur les différents domaines d'applications, a été enrichi par des présentations des personnes invitées qui ont pu présenter (en plus du programme initial) leurs études en cours et établir un lien avec la pédologie hydrostructurale, ce qui a permis des discussions pour plus détaillées pour d'éventuels partenariats futurs. Le point à améliorer serait de consacrer plus de temps pour l'initiation au modèle Kamel (formation future à entrevoir). Les sorties terrain étaient très intéressantes et ont permis de découvrir le contexte d'application de la rétractométrie en Tunisie et certains instruments de mesure in situ des propriétés des sols (teneurs en eau et sels).

Le séminaire aura un **impact** certain sur les chercheurs des partenaires organisateurs, en l'occurrence l'INRGREF et l'IRD, la DG/ACTA et le QEERI mais également sur les partenaires du Sud surtout en termes de renforcement des capacités. Sur le **long terme**, l'impact du séminaire se situe à plusieurs niveaux :

- Sur la Recherche : la mise en œuvre d'un nouveau paradigme en sciences du sol, l'amélioration du concept de pédologie hydrostructurale : caractérisation et modélisation, création de champs d'investigation nouveaux sur les relations interdisciplinaires autour du sol (couplages télédétection-cartographie, sol-racines, bio-remédiation du sol, interaction sol-métaux lourds etc....)
- Sur la formation diplômante : un certain nombre de stages d'étudiants, mastères et thèses seront mis en route au cours des prochaines années.
- Sur le développement : les sols seront de plus en plus conçus dans la gestion des périmètres irrigués et non seulement la caractérisation périodique de leur état.

Pour la **pérennisation des résultats**, on prévoit de constituer avec les participants le noyau d'un réseau dans le domaine de la pédologie hydrostructurale. D'autres ateliers sont envisagés sur certains aspects tels que l'emploi des méthodes géophysiques pour la caractérisation et le suivi des sols. Des propositions de sujets de mastère et de thèse pourront être élaborées en lien direct avec le développement de la discipline et de ses activités en réponses aux questions agro-environnementales (utilisation des eaux usées traitées en agriculture irriguée, suivi, impact, remédiation ...)

PRINCIPALS OBJECTIVES

The principal objective of the seminar is the diffusion of the new paradigm of **Hydrostructural Pedology** to teachers and young scientists in the field of agroenvironmental sciences through courses and training on :

- The physical and systemic approach to soil organization and the natural environment
- Laboratory methodologies for the physical characterization of soil and experiments in the physical and systemic coupling of biology with the organized soil environment
- Mapping and information systems for soil organization

ACTION CONTEXT

Hydrostructural pedology is a new scientific discipline in earth sciences that is different from hydropedology (which is more commonly known) through its domain of study : the soil medium, which is physically organized into several functional, nested levels, and the spatial distribution of this organization (soil mapping). Hydrostructural pedology hence explores the internal borders of hydropedology, which focuses exclusively on organization at the surface of the natural environment (soil and water surface), and in which the soil interior is reduced to a black box in transfer equations. Hydrostructural pedology complements classic pedology by studying the thermodynamics and hydrodynamics of the soil medium and its different levels of organization : primary peds, the pedostructure, the soil horizon and the representative pedon of the primary soil mapping unit.

The emergence of this new discipline among other agro-environmental (AE) disciplines *allows one to visualize, in this vast scientific sector, a real interdisciplinarity* that could not exist otherwise. The soil is indeed the physical, organized, and multiscale environment that serves as a natural habitat and nutritional support system (pedostructure) for living organisms and biotic and abiotic processes. The knowledge of soil in these terms – pedostructure and pedoclimate – allows one to conduct laboratory experiments related to bio-soil and the transfer of laboratory-scale results to spatial modeling (Braudeau and Mohtar, 2009).

It is therefore necessary to share the principles and methodologies of soil characterization and modeling that come from this new paradigm with key stakeholders. This could support technical and scientific means *necessary for appropriate management of water and soil resources in the context of irrigation, soil specificity and under the climatic constraints that are appropriate for each situation*. Indeed, in the context of scarcity of water and soil resources and the negative effects of climate change, many regions will be incapable of satisfying the needs of a growing population without implementing measures to improve the productivity of the water and land. Innovation and research in these areas will contribute to optimizing the management of these resources. The workshop is a continuation of a symposium on « Water in Agriculture in the Context of Climate Change » held in May 2010 at Purdue University under the auspices of the French Embassy and the US GEP. The project organizers and several researchers from the south invited by IRD presented the important role of soil knowledge and its hydrostructural and thermodynamic modeling in reference to water in

agriculture. The relevance of this training was felt by all researchers present. This training project is also related to the desire to « referesh » education on soil and water.

Finally, we must emphasize the long-standing collaboration on the subject of soil and water with Tunisian institutions involved in the workshop, namely INGRES and the Department of Soils. In fact, conventions are periodically established under the framework agreement IRD/IRESA. In this sense, several research activities have been conducted on the characterization and management of land resources, soil degradation, optimization of the managements of resources in non-conventional water (saltwater or treated wastewater) along with the diplomatic training and strengthening of Tunisian and French researchers and engineers. This workshop and the project being set up help to strengthen the institutional partnerships with Tunisian partners. INGRES has for many years ensured the training of researchers, engineers, and managers in French-speaking African countries in the areas of saltwater management and treated wastewater management as it relates to agriculture. INGRES will thus be a focal point for training in the management of water and soil resources and the link between France and African countries.

METHODOLOGY

The proposed workshop is consistent with the objectives of the DSF/IRD to strengthen the competence of researchers and teachers in countries in the South. There are many innovative aspects in the project :

- Technology transfer and new methods of characterization and modeling of the soil hydrostructure : concepts, approaches, and techniques
- The rehabilitation of a hydrostructural analysis of soil in Tunisia, which could be the platform for future research and training for Tunisia and/or IRD/South-South and now with QEERI in Qatar.
- Creation of a network of partners south of the IRD in the field of soil science: dialogue, exchange of experiences and South-South mobility of researchers, teachers and students.

For the beneficiaries, researchers, teachers and students in soil science, water management, and soil environmental science were directly involved. This had an indirect impact on the engineers and technical staff involved. Moreover, like many other countries from the South, the two involved Tunisian institutions belong to two structures: INGRES for the research and “Direction des sols” for the development.

The training included the following : (i) theoretical aspects : the systemic and thermodynamic approach to soil, methods of hydrostructural characterization of the soil and methodologies for modeling of the soil-water system ; and (ii) applied aspects : example of the perimeter of Cebala Borj-Touil irrigated with treated waste water; and practical aspects : study approach to monitoring and managing the perimeter (field and lab), design of SIRS Cebala (soil mapping, design, device control), simulation of crops and water needs, including a visit to the Cebala Perimeter and a visit to the laboratory of hydrostructural analysis.

RESULTS AND SUSTAINABILITY

The seminar took place beyond the initial program. The program is very comprehensive and rich with detailed presentations on hydrostructural soil science and other presentations on the different fields of application. These presentations were enriched by invited guests who presented their studies and link to hydrostructural pedology, allowing for more detailed discussions for possible future partnerships.

One area for improvement would be to devote more time to the Kamel model (future training). The field trips were very interesting and revealed the application context of retractorimetry in Tunisia and some instruments for in situ measurement of soil properties (moisture and salt).

The seminar will have an impact on researchers from organizing partners, namely INRGREF and IRD, DG/ACTA and QEERI, as well as partners in the South, especially in terms of capacity building. In the long term, the seminar will have several impacts:

- Scientific impacts : the implementation of a new paradigm in soil science, improvement of the concept of hydrostructural soil science : characterization and modeling, creating new fields of investigation on interdisciplinary relationships around the ground (remote-coupling mapping, soil-root, bioremediation of soil, soil-heavy metal interactions, etc...)
- Degree program : a number of student placements and Master's theses will be launched in the coming years.
- Development : develop the area of soil management of irrigated areas, not just periodic characterization of soil condition.

For the sustainability of results, it is expected that the participants will form a core network in the field of hydrostructural soil science. Other workshops are planned on such aspects as the use of geophysical methods for the characterization and monitoring of soils. Proposals for topics and master theses can be developed directly related to the discipline and its activities in response to agroenvironmental issues (use of treated wastewater in irrigated agriculture, monitoring, impact, remediation...)

PEDOLOGIE HYDROSTRUCTURALE

HYDROSTRUCTURAL PEDOLOGY



QEERI



ACTIONS THEMATIQUES STRUCTURANTES
(ATS, IRD/DSF)

Séminaire de formation en pédologie hydrostructurale :

Méthodologies de caractérisation et Modélisation hydrostructurale du sol pour la gestion des eaux et des sols en agriculture irriguée et/ou de précision

Tunis, 28/11 – 3/12/2011

Présentation, Objectif & Programme

M. Hachicha & E. Braudeau

CONTEXTE D'ACTION

- La pédologie hydrostructurale est une nouvelle discipline en sciences de la terre qui se distingue de l'hydro-pédologie (plus connue) par son domaine d'étude : l'intérieur du sol.
- Elle complète la pédologie classique en dotant celle-ci d'une physique du milieu sol à ses différents niveaux d'organisation.
- Il est urgent de faire connaître les principes et les méthodologies de caractérisation et modélisation des sols de ce paradigme aux acteurs du développement pour être en mesure de s'approprier des moyens scientifiques et techniques nécessaires à une gestion appropriées de leurs ressources en eaux et en sols.

RESULTATS & DURABILITE

- **Sur la Recherche :** Mettre en œuvre un nouveau paradigme en sciences du sol; Améliorer le concept de pédologie hydrostructurale : caractérisation et modélisation; Création de champs d'investigation nouveaux sur les relations interdisciplinaires autour du sol (couplages télédétection-cartographie, sol-racines, bio-remédiation du sol, interaction sol-sels/ETM, etc...).
- **Sur la formation diplômante :** un certain nombre de stages d'étudiants, mastères et thèses pourront être réalisés.
- **Sur le développement :** concevoir les sols dans la gestion des périmètres irrigués et non seulement la caractérisation périodique de leur état.

PROGRAMME

Jeudi 1 décembre 2011

9h-14h: Sortie de terrain dans la Basse Vallée de la Mejerda – M. Hachicha
Exemples d'Aménagement, Gestion et Suivi d'un périmètre irrigué affecté par la salinité et l'hydromorphie (Périmètre Cebaila): relation laboratoire - terrain pour la modélisation et la gestion des systèmes irrigués (expérimentation, instruments de mesure et suivi des eaux et des sols)

Vendredi 2 décembre 2011

9h-10h30 : Modèle sol-structure-eau Kamel®: principe et cadre d'utilisation - E. Braudeau
10h30-11h: Pause café
11h-14h: Initiation au modèle Kamel® – P. Join (Sté Valhoriz)

Samedi 3 décembre 2011

9h-11h: Table ronde : synthèse, évaluation et perspectives
11h-11h30: Pause café
11h30-12h: Clôture

OBJECTIFS PRINCIPAUX

➢ Diffusion du nouveau paradigme de la Pédologie hydrostructurale auprès des enseignants et jeunes chercheurs en sciences agro-environnementales :

Cours et formation sur :

- l'approche physique et systémique de l'organisation des sols et du milieu naturel ;
- les méthodologies de laboratoire pour la caractérisation physique des sols et les expérimentations de couplage physique et systémique de la biologie avec le milieu organisé du sol
- la cartographie et les systèmes d'information de l'organisation des sols.

➢ Prolongement d'un symposium sur « l'eau en agriculture dans le contexte du changement climatique », mai 2010, Purdue Univ. (Ambassade de France et GEP américain).

➢ Proposition « white paper » pour demande de financement, impliquant plusieurs partenaires du sud (Argentine, Tunisie, Maroc, Egypte) ainsi que l'Univ. Purdue (US) : **Soil water interaction and soil information system for agro-environmental modeling under climate change.**

➢ Volonté IRD de création d'un Master Int. Sols et Eaux à Bondy-Paris 6.

➢ Projet ECOS-Sud IRD/Argentine et projet IMHOTEP (Egide) IRD/Egypte

➢ Collaboration de longue date sur le thème sols et eaux avec les institutions tunisiennes impliquées l'INRGREF et la D/Sols.

PROGRAMME

Lundi 28 novembre 2011

9h-10h: Ouverture du séminaire, Présentation du programme, son objectif et les attentes
10h-11h30: Pédologie Hydrostructurale : théorie et concepts - E. Braudeau
11h30-12h: Pause café
12h-13h: Présentations des invités
13h-14h: Pédologie Hydrostructurale : perspectives et discussion - E. Braudeau et H. Boukzouj

Mardi 29 novembre 2011

9h-9h45: Télédétection – M. Loinbar
9h45-10h30: Géophysique de subsurface appliquée à la cartographie - J.-F. Monterot
10h30-11h30: Modélisation des systèmes sol-plante-atmosphère, instrumentation - G. Nizinski
11h30-12h: Pause café
12h-14h: Présentations des invités et discussions

Mercredi 30 novembre 2011

9h-10h: Cartographie et système d'information à référence spatiale de l'organisation des sols (SIRS Sol, D/Sols) – Ch. Derouich et A. Louki
10h-11h: Caractérisation et modélisation des transferts d'eau et de sels en milieu semi-aride tunisien - S. Kanzari et M. Hachicha
11h-11h30: Pause café
11h30-12h30: Aperçu sur Le Lab. de caractérisation hydrostructurale des sols et quelques applications – Ch. Zidi, M. Hachicha et H. Hamrouni
12h30-14h: Visite du Laboratoire de caractérisation hydrostructurale des sols - Direction des sols- Ch. Zidi, M. Hachicha et H. Hamrouni

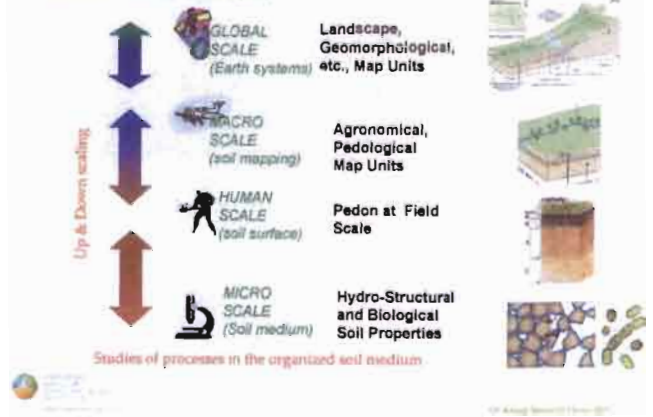
Hydrostructural Pedology at the Heart of Environmental Sciences

Soil water potential & energy
 models (Sposito, 2009)

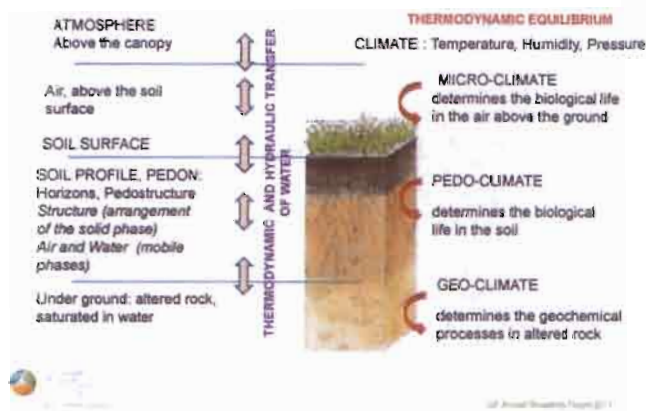
Hydro-Structural Pedology

© 2009 Sposito, 2009

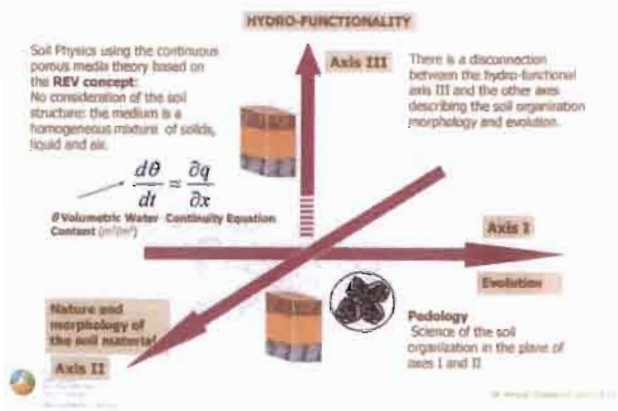
Soil is present at all organization scales of the natural environment



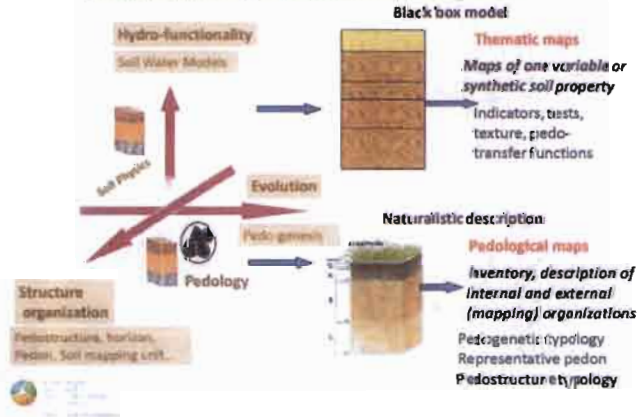
Physics of soil and water interactions in the critical zone



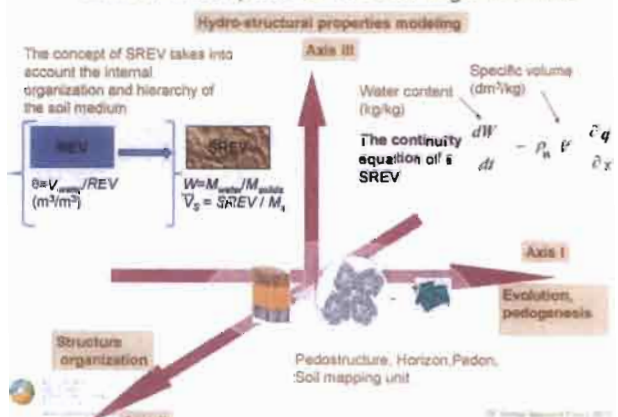
Disconnection between soil physics and pedology



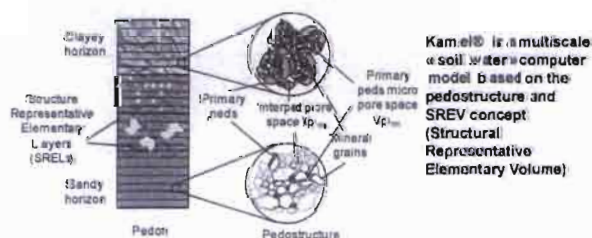
Consequence: Soil-water models do not correspond to the observed soil organizations



The concept of SREV allows the junction of the axes of description of the soil organizations



Hydro-structural Soil-Water Model



References

Modeling the Soil System: Bridging the Gap Between Pedology and Soil-Water Physics. Braudausu, E. and Mshar, R.H. Global Planetary Change Journal, 6(7): 51-61, 2009

A multi-scale « soilwater » model based on the pedostructure concept. E. Braudausu et al. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 6, 1111-1163, 2009.

Example of discovery in this new paradigm: Exact formulation of the soil water potential

- The well known "soil water potential curve": $\theta(W)$, is until now represented by empirical equations
 - Total differential of the free energy for the soil medium (Sposito, 1981) (application of the two laws of thermodynamics)
 - Notion of Structural Representative Elementary Volume (SREV), instead of the well known REV
 - Notion of pedostructure as assembly of primary peds, leading to consider two complementary pore spaces, inside (micro) and outside (macro) of these primary peds (W_{ms} , W_{ms}) and (W_{ms} , W_{ms}). G_{ms} and G_{ms} are the surface charges potential of solids inside and outside of primary peds.
- Van Genuchten, Campbell, Brooks and Corey, no physical meanings of parameters
- $dG = -SdT + VdP + \mu_s dM_s + \mu_{ms} dM_{ms} + \mu_{ms} dM_{ms}$
- $dG = -SdT + VdP + (\mu_{ms} - \mu_{ms})dW_{ms} + (\mu_{ms} - \mu_{ms})dW_{ms} + (\mu_{ms} - \mu_{ms})dM_{ms}$
- $dG_{ms} = d(\mu_{ms} W_{ms}) = 0$ $dG_{ms} = d(\mu_{ms} W_{ms}) = 0$
- $dG_{ms} = d(\mu_{ms} W_{ms}) = 0$ $dG_{ms} = d(\mu_{ms} W_{ms}) = 0$
- $\mu_{ms} = \mu_{ms} - \mu_{ms} = G_{ms}(1/W_{ms} - 1/W_{ms})$
 $\mu_{ms} = \mu_{ms} - \mu_{ms} = G_{ms}(1/W_{ms} - 1/W_{ms})$

Exact formulation of the soil water potential

Measurement of h according to the water content W which decreases slowly by evaporation, can be considered as a succession of equilibrium states for each value of W . At each W , W_{ms} et W_{ms} are such that the corresponding potential h_{ms} and h_{ms} are equal (equilibrium). W_{ms} and W_{ms} are solutions of the quadratic equation:

$$h^{ee}(W) = h_{ms}(W_{ms}^{ee}) = h_{ms}(W_{ms}^{ee})$$

$$W_{ms}^{ee} - (V + \delta/A)W_{ms}^{ee} + (\delta_{ms}/A)W = 0$$

$$W_{ms}^{ee} = (1/2)(V + \delta/A) + (1/2)\sqrt{(V + \delta/A)^2 - 4(\delta_{ms}/A)W}$$

$$W_{ms}^{ee} = W - W_{ms}^{ee}$$

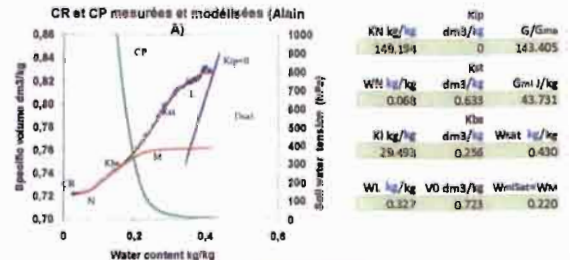
$$h_{measured} = h^{ee} = \delta_{ms} (1/W_{ms}^{ee} - 1/W_{ms}^{ee})$$

$$= \delta_{ms} (1/W_{ms}^{ee} - 1/W_{ms}^{ee})$$

Thus, the thermodynamic formulation of the water potential curve $h(W)$ such that it is measured:

And the corresponding pedostructure characteristics are:

Example of measured and simulated Shrinkage and Water Potential Curves



Physical parameters of the shrinkage and water potential curves:

$$V(\delta) K_{sp} N_{sp} K_{sp} K_{sp} W_{sp} W_{sp} R_{sp} R_{sp} W_{ms} W_{ms} G_{ms} G_{ms}$$

Local and spatial modeling in the systemic approach

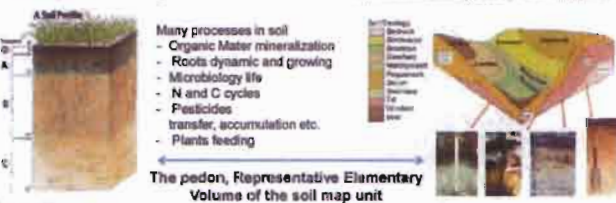
Soil is a *physical organized medium allowing for life*. It operates with water and air that surround the solid phase of the soil structure.

Three fundamental questions for the local modeling and its link to the soil mapping:

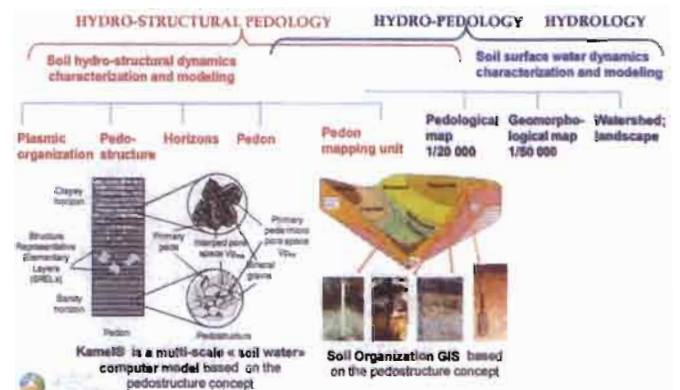
1. How to characterize and model the thermodynamics (energetic activity) of this natural organization (the soil) with the living organisms and the external environment?
2. How to characterize and model the hydro-structural dynamics of a pedon?
3. How to physically extend the bio-physical properties of the pedon to the corresponding soil mapping unit (soil typology)?

Bio-Physical modeling at local scale

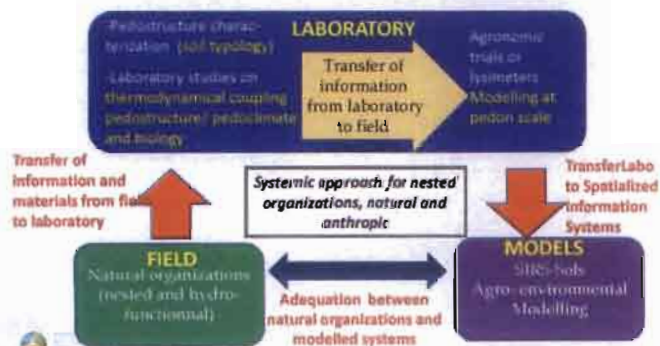
Spatial modeling using soil mapping



Two types of modeling must be recognized before researching their physical coupling

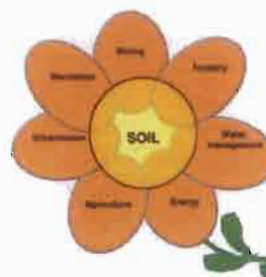


Role and functions of an Hydrostructural Pedology Laboratory



Soil at the heart of the agro-environmental disciplines

The SNOWMAN Research Program



Soils represent a major component of agro-ecosystems. A better management of these ecosystems can be attained through reliable soil-water characterization, mapping, and modeling of the complete water cycle in the natural medium.

We have tried to show the necessity of considering distinctively but simultaneously, the both hydrologic and thermodynamic aspects of the water cycle in the soil-plant-air environment.

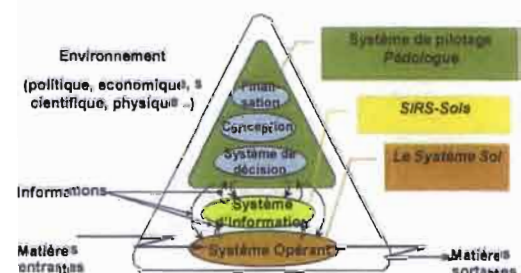
This is the condition to practice true interdisciplinary coupling between agro-environmental disciplines and the soil.

Examples of societal activities supported by soil and soil functions.

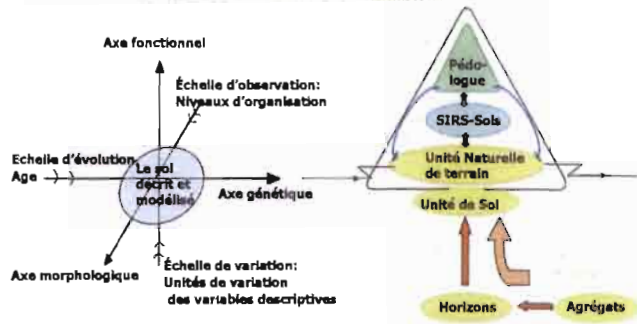
SYSTEM APPROACH THEORY

Soil mapping

L'approche systémique appliquée à la pédologie

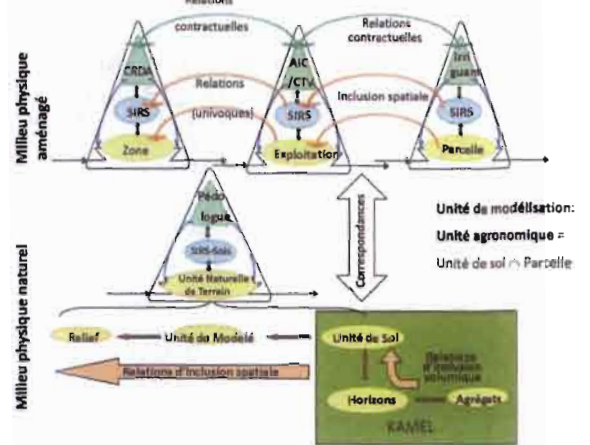


Le Système Général (SG) composé du pédologue et de son objet d'étude, le sol



L'approche systémique dans l'étude du milieu naturel est donc l'introduction de la théorie de la hiérarchie des systèmes dans l'élaboration du SIRS du SG représentant la discipline d'étude et son objet d'attention

Couplage des SI des systèmes de gestion et des organisations naturelles



Infrastructure du périmètre irrigué de Cébélat, parcellaire et dispositif de suivi

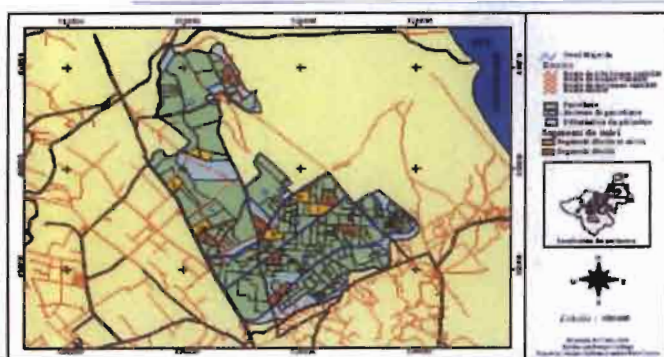
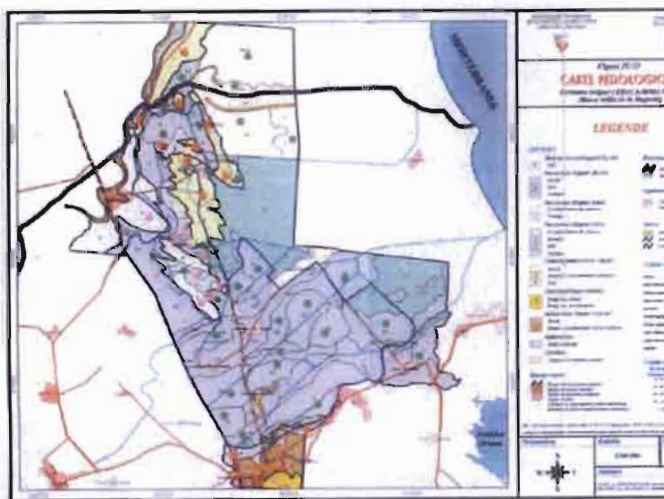
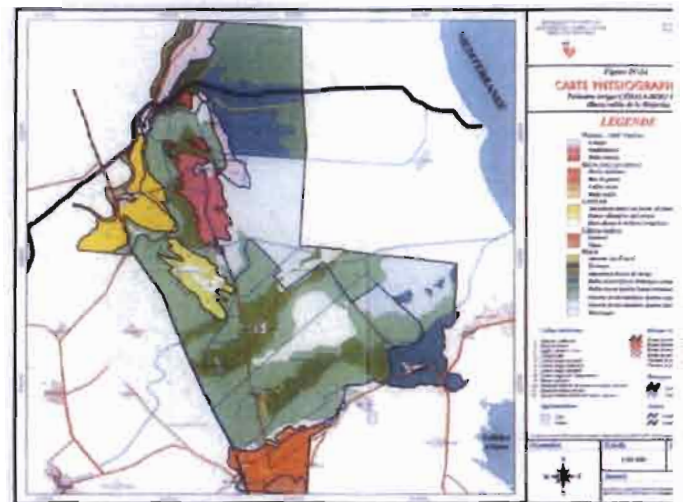
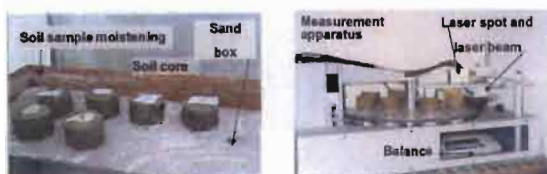


Figure IV.5 - Parcelles, secteurs (en lettres capitales) et segments d'irrigation du CRDA (numéros)

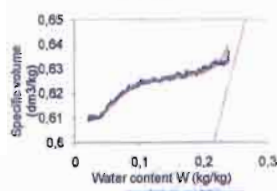


Soil typology, hydro-structural characterization

Mesure des caractéristiques de la pédostucture sur échantillon standard

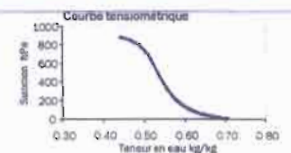


La courbe de retrait $V(W)$ est l'une des trois équations d'état caractéristiques de la pédostucture

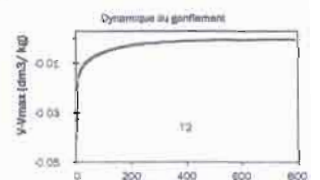


Mesure de la courbe de potentiel et la courbe de gonflement

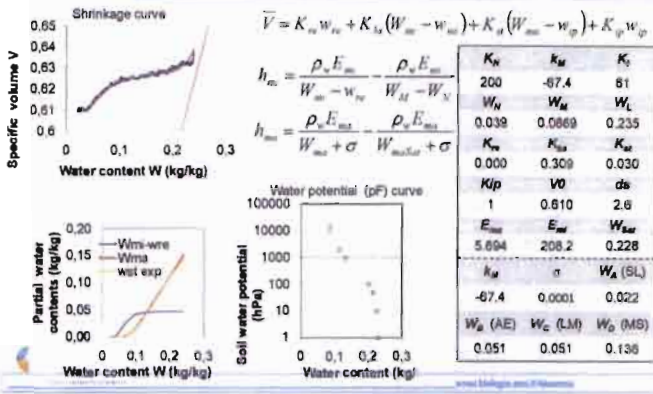
Mesure du potentiel de l'eau au tensiomètre



Mesure de la dynamique de gonflement des agrégats



Caractérisation hydrostructurale: Extraction des paramètres des courbes de retrait et de potentiel de l'eau mesurées

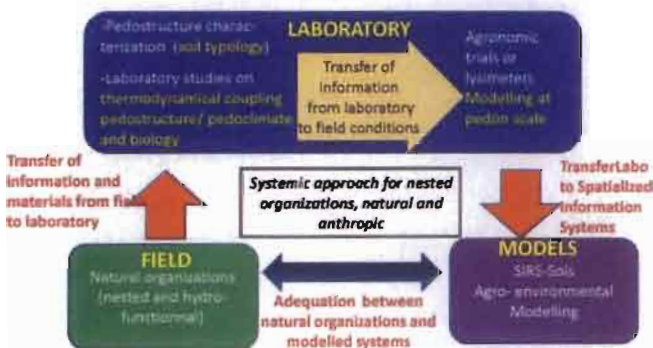


Les 15 paramètres de la pédostructure (paramètres des 4 courbes mesurées)

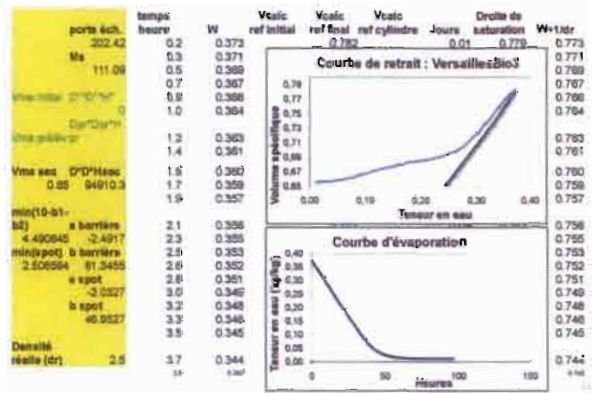
Provenance	Paramètre	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4
Courbes de retrait	K_{Kv}	0.6	0.3	0.3	0.3
	K_{Ls}	0.737	0.855	0.847	0.855
	K_{Ld}	0.319	0.428	0.417	0.426
	K_{Lp}	5.128	0.883	0.073	0.083
Courbes de potentiel	W_{Ls}	0.219	0.230	0.146	0.249
	W_{Ld}	4.10	384	88	71
	W_{Lp}	-37	-25	-18	-18
	ν_0	0.4	1.0	1.6	1.7
Courbes de potentiel	σ	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	E_{ms}	6.8	13.8	21.2	23.7
	K_{Ls}	9.0E-06	2.6E-04	1.6E-04	2.6E-04
	σ_0	75.0	68.6	66.7	68.7
Courbes de Conductivité	K_{ms}	1.7E-10	8.8E-12	1.0E-11	8.5E-12
	α^*	278	238	194	238
Confinement	ν_0	30	30	30	30

Kamel® parameters calculated from the measured data of Davidson et al. (1969)

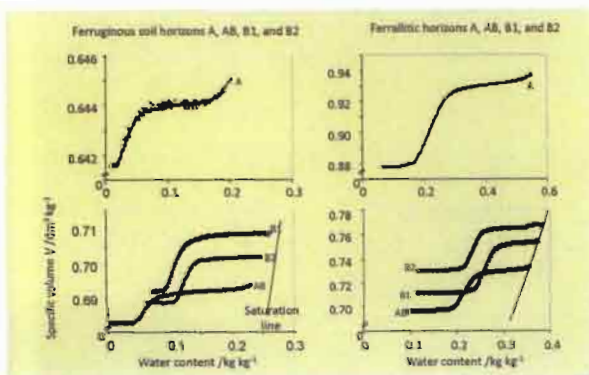
Role and functions of an Hydrostructural Pedology Laboratory



Feuille résultat type



Exemples de courbes de retrait



Caractérisation hydrostructurale de la pédostructure

B) La courbe de potentiel de l'eau

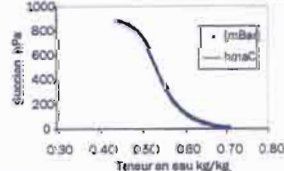
- a) avec mini tensiomètre de labo
 - Appareillage
 - Préparation des échantillons
 - Mesure en continu et compléments de mesure
 - Feuille de résultats (courbes continues de 0 à 60 kPa)
- b) à la presse à plaque poreuse
 - Appareillage
 - Préparation des échantillons
 - Mesure dans l'appareil de Richards (presse à plaque poreuse)
 - Feuille de résultats (points de mesure de 0 à 1500 kPa)

Mesure de la courbe de potentiel au tensiomètre et à la presse à plaque poreuse.

Mesure du potentiel de l'eau au tensiomètre



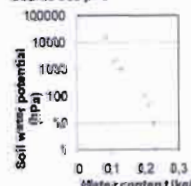
Courbe de Succion mesurée au tensiomètre



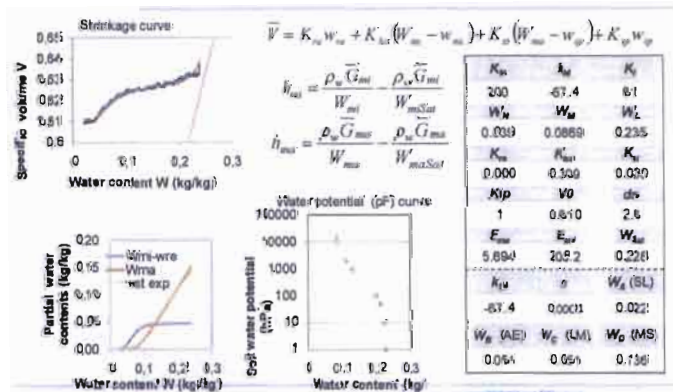
Mesure de la dynamique de gonflement des agrégats



Courbe des pFc



Extraction des paramètres des courbes mesurées

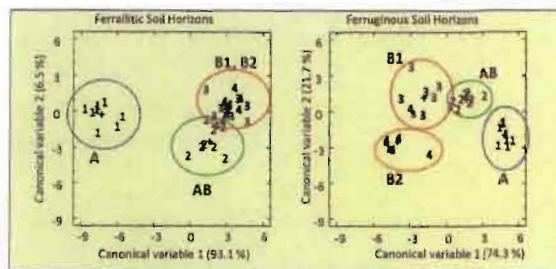


Exemple de détermination des 15 paramètres du fonctionnement hydro-structural d'un sol

Extrait de: Paramètres	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	
Courbe de retrait	K_{hd}	0.6	0.5	0.3	0.3
	V_{hd}	0.754	0.455	0.447	0.333
	W_{hd}	0.310	0.426	0.417	0.426
Courbes de conductivité	W_{hd}	0.228	0.382	0.373	0.283
	W_{hd}	0.219	0.230	0.240	0.246
	k_{hd}	410	184	86	71
	k_{hd}	-27	-92	-18	-19
Courbes de potentiel	G_{hd}	0.4	1.0	1.6	1.7
	σ	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	G_{hd}	6.8	13.8	31.2	23.7
Courbe de Conductivité	k_{hd}	9.0E-06	2.6E-04	1.6E-04	2.6E-04
	α_M	75.0	68.6	66.7	68.7
	K_{hd}	1.7E-10	8.8E-12	1.0E-11	8.5E-12
	α^*	278	238	194	238
Gonflement	$l_{p,2}$	30	30	30	30

Kamel® parameters calculated from the measured data of Davidson et al. (1969)

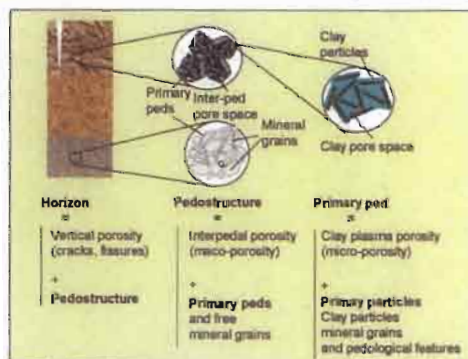
Exemple d'application: Différentiation des horizons de 2 sols types par leurs courbes de retrait



Analyse discriminante des horizons de deux sols types du Congo et du Sénégal par leurs paramètres caractéristiques de la CR. Les nombres 1, 2, 3, et 4, indiquent les horizons A, AB, B1, et B2, respectivement.

Braudeau, Sene, Mohtar. 2005. Hydrostructural characteristics of two African tropical Soils. European Journal of Soil Science: 56, 375-388.

Chaque niveau d'organisation possède son lot de variables et paramètres de description propre



Braudeau, E., Frangi, J.P. and Mohtar, R.H., 2004. Characterizing non-rigid dual porosity structured soil medium using its Shrinkage Curve. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 359-370.

Hydro-structural functioning of the soil medium

Les variables et fonctions spécifiques des organisations du système "sol"

Volumes of concern	Specific volume	Specific pore volume	Water content	Non swelling water	Swelling water	Suction pressure	Conductivity
Horizon	\bar{V}_{hd}	Vp_{hd}	W_{hd}				
Pedostructure	\bar{V}		W			h	k
Interped porosity		Vp_{ma}	W_{ma}	w_{st}	w_{sp}	h_{ma}	k_{ma}
Primary peds	\bar{V}_m	Vp_m	W_m	w_{re}	w_{sp}	h_m	k_m
Primary soil particles	\bar{V}_s						

The table shows all the organizational (column 2 to 8) and functional (columns 7 and 8) variables proceeding from the definitions above. All variables are referred to the structural mass composing the largest of the nested considered volumes;

Équation du potentiel thermodynamique de la pédostructure

L'équation d'énergie libre de Gibbs de la pédostructure, SREV du milieu organisé d'un horizon de sol, s'écrit ainsi:

$$d\bar{G} = -\bar{S}dT + \bar{V}dP + h dW - \bar{A}d\mu_s$$

Dans laquelle les variables: entropie \bar{S} , volume \bar{V} , énergie G et volume d'air A , sont toutes rapportées à la masse de la structure solide m_s contenue dans le SREV, tel que:

$$\bar{G} = G/m_s; \bar{S} = S/m_s; \bar{V} = V/m_s; W = m_w/m_s; A = A/m_s$$

$\bar{S}(W)$, $\bar{V}(W)$, $h(W)$ et $A(W)$ sont les équations d'état caractéristiques du milieu en fonction de sa teneur en eau à T , P et μ_s constants.

Un milieu homogène du point de vue de sa structure et de ses propriétés d'interaction avec l'eau (hydrostructurales) possède les mêmes équations d'état en tout point du milieu. Parmi celles-ci, les plus connues sont:

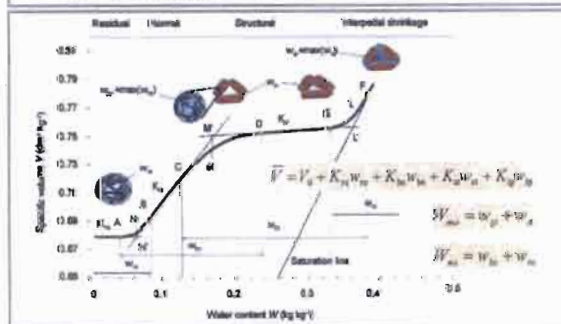
- La courbe de retrait: $\bar{V}(W)$ et la courbe de potentiel de l'eau: $h(W)$
- Elles caractérisent la fonctionnalité structurale de la pédostructure
- Elles permettent de compléter la typologie pédo-génétique des sols actuelle (qualitative) par une typologie fonctionnelle (quantitative)

From Braudeau, E. and Mohtar, R.H. 2009. Modeling the Soil System: Bridging the Gap Between Pedology and Soil-Water Physics. Global and Planetary Change Journal, 67: 51-61.

La courbe de retrait, caractéristique de l'organisation interne de la pédostructure

Shrinkage curve: $\bar{V}(W)^*$

\bar{V} : Specific Volume of the pedostructure in dm^3/kg
 W : Mass soil water content in kg/kg



Braudeau, E., Frangi, J.P. and Mohtar, R.H., 2004. Characterizing non-rigid dual porosity structured soil medium using its Shrinkage Curve. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 359-370.

Équations de la CR et des types d'eau

Deux types d'informations: les courbes $h(W)$ et les paramètres caractéristiques qui sont les paramètres des équations de ces courbes:

$$w_{re} = W_{hd} \frac{1}{K_{hd}} \ln(1 + e^{-K_{hd}(W-W_{hd})})$$

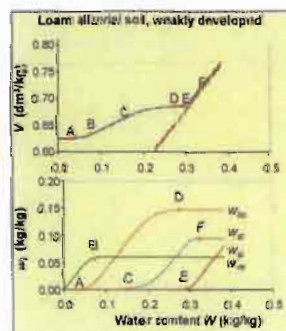
$$W_{hd} = \frac{1}{K_{hd}} \ln(1 + e^{K_{hd}(W-W_{hd})}) + \frac{1}{K_{hd}} \ln(1 + e^{-K_{hd}(W-W_{hd})})$$

$$W_{hd} = \frac{1}{K_{hd}} \ln(1 + e^{K_{hd}(W-W_{hd})}) - \frac{1}{K_{hd}} \ln(1 + e^{-K_{hd}(W-W_{hd})})$$

$$W_{sp} = \frac{1}{K_L} \ln(1 + e^{K_L(W-W_{hd})})$$

$$V = V_0 + K_{hd}W_{hd} - K_{hd}W_{hd} + K_{hd}W_{st} + K_{hd}W_{sp}$$

$$K_{hd} = 1; K_{hd} = 0; K_{hd} \leq 0.03 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1}$$



Jeu de 12 paramètres ($V_0, K_{hd}, K_{hd}, \dots, W_{hd}, W_{sp}, \dots, K_M, K_N, \dots$) à extraire des courbes mesurées pour décrire en totalité la variation hydrostructurale interne de l'horizon de sol. La moitié des paramètres environ peuvent être fixés.

Equations physiques des trois autres courbes caractéristiques de la pédostucture

Water Potential curve : $h(W)^*$

Macroscopic system (inter aggregates)

$$h_{ma} = \frac{\rho_w \bar{G}_{ma}}{W_{ma}} - \frac{\rho_w \bar{G}_{mi}}{W_{mi,at}}$$

Microscopic system (intra primary peds)

$$h_{mi} = \frac{\rho_w \bar{G}_{mi}}{W_{mi}} - \frac{\rho_w \bar{G}_{mi}}{W_{mi,at}}$$

Swelling curve : $V(t)^*$

The dynamic of primary aggregates vs time:

$$\frac{dW_{mi}}{dt} = k_{sw}(h_{mi} - h_{ma})$$

Transfer rate coefficient for the absorption-desorption of the interped water by the primary peds:

$$k_{sw} = \frac{0.1931(W_{mi} - W_{mi}^*)^2}{\rho_w E_{mi,1}}$$

Hydraulic conductivity curve : $K(W)^*$

Hydraulic conductivity of the interpedal (structural) porosity of the pedostructure

$$k_{ma} = \frac{k_{ma,0} e^{-\alpha W_{mi}}}{k_{ma,0} + e^{(\alpha_w - \alpha) W_{mi}}}$$

*Braudeau, E. and Mohtar, R.H., 2004. Water potential in non rigid unsaturated soil-water medium. Water Resources Research 40, W05108
 *Braudeau, E. and Mohtar, R. H., 2006. Modeling the Swelling Curve for Packed Soil Aggregates Using the Pedostructure Concept. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, 494-502

Équation du potentiel thermodynamique de la pédostucture

L'équation d'énergie libre de Gibbs de la pédostucture, SREV du milieu organisé d'un horizon de sol, s'écrit ainsi:

$$d\bar{G} = -\bar{S}dT + \bar{V}dP + \mu_w dW - \bar{A}d\mu_a$$

Dans laquelle les variables : entropie S, volume V, énergie G et volume d'air A, sont toutes rapportées à la masse de la structure solide m_s contenue dans le SREV, tel que:

$$\bar{G} = G/m_s; \bar{S} = S/m_s; \bar{V} = V/m_s; \bar{W} = m_w/m_s; \bar{A} = A/m_s$$

$\bar{S}(W)$, $\bar{V}(W)$, $\mu(W)$ et $\bar{A}(W)$ sont les équations d'état caractéristiques du milieu en fonction de sa teneur en eau à T, P et μ_a constants.

Un milieu homogène du point de vue de sa structure et de ses propriétés d'interaction avec l'eau (hydrostructurales) possède les mêmes équations d'état en tout point du milieu. Parmi celles-ci, les plus connues sont :

La courbe de retrait : $\bar{V}(W)$ et la courbe de potentiel de l'eau : $\mu_w(W)$

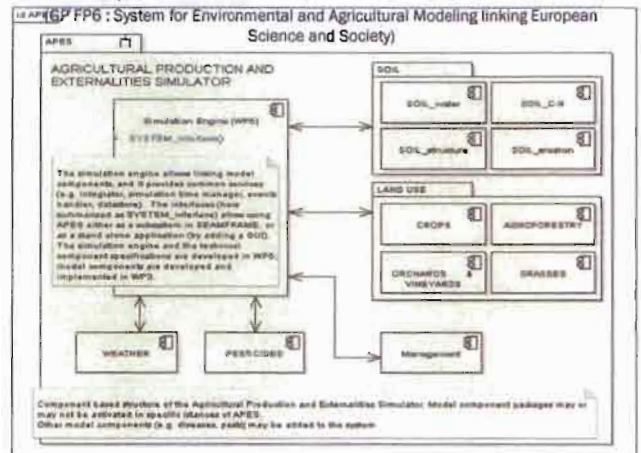
- Elles caractérisent la fonctionnalité structurale de la pédostucture

- Elles permettent de compléter la typologie pédogénétique des sols actuelle (qualitative) par une typologie fonctionnelle (quantitative)

From Braudeau, E. and Mohtar, R.H. 2009. Modeling the Soil System: Bridging the Gap Between Pedology and Soil-Water Physics. Global and Planetary Change Journal. 67: 51-61.

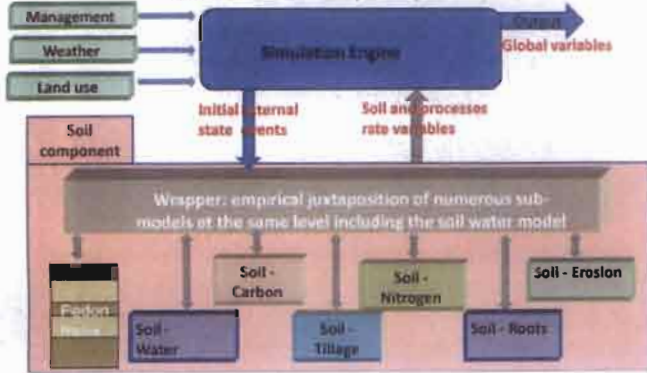
Soil modeling

Example, the SoilWater in APES for SEAMLESS



The case today in agro-environmental modeling: the soil organization is ignored leading to a juxtaposition of models

(APES model (Agricultural Production and Externalities Simulator) built in the SEAMLESS European Project, 2008)

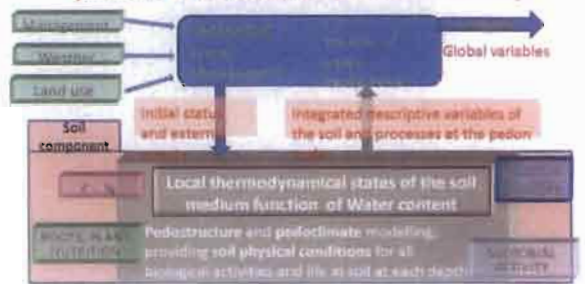


Our proposal in agro environmental modeling

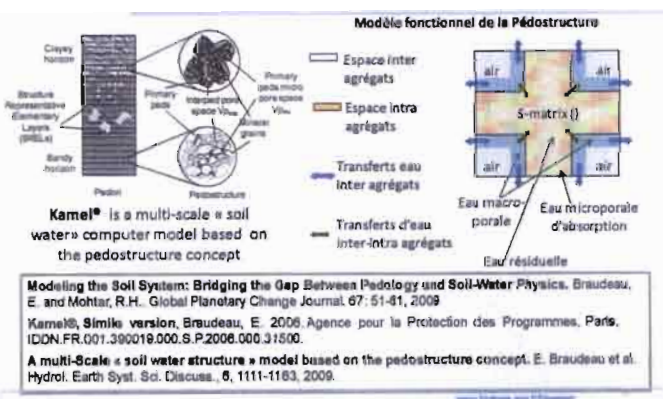
Taking into account the hierarchical soil organization of the soil medium in soil-water modeling by using the pedostructure concept.

This makes it possible to use the systems approach to transform this natural organization into thermodynamic systems and subsystems which are in hydrostructural and thermodynamic equilibrium between them.

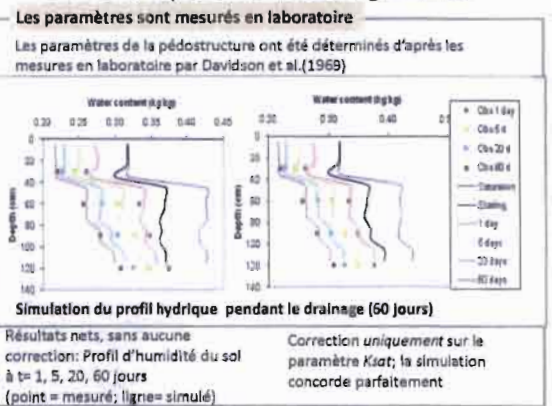
All dynamics can be then modeled in reference to these equilibrium states of which parameters are well defined and determined in laboratory



Autre application: Simulation dynamique du Pédon, de la pédostucture et du pédoclimat par Kamel®



Test sur le modèle "Sol-eau" Kamel dans une expérience de drainage interne

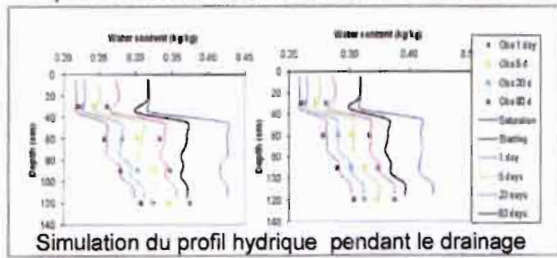


A multi-scale « soil water structure » model based on the pedostructure concept. E. Braudeau et al. Global and Planetary Change Journal. 67: 51-61, 2009.

Test: Experience de drainage interne

Exemple de Simulation par Kamel

Les paramètres de la pédostucture sont calculés à partir des données de laboratoire de Davidson



Simulation du profil hydrique pendant le drainage

(60 jours)
Sans aucune
correction, Profil
hydrique à 1, 5, 20,

La correction n'a porté
que sur K_{sat} , le résultat
est excellent





Pédologie hydrostructurale

2^{ème} partie

Mesure des paramètres caractéristiques de la pédostructure en laboratoire

Erik Braudeau (IRD)
Bioemco IRD 211 site de Bondy

1^{er} Décembre 20010

www.biologie.ird.fr/bioemco

Approche systémique de la couverture pédologique

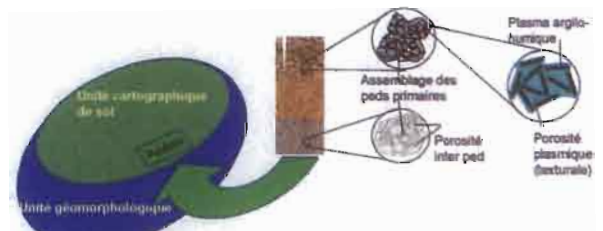
- Application de l'approche systémique à la science du sol
Appliquée au sol, l'approche systémique est la transformation de l'organisation des sols de la couverture pédologique en systèmes fonctionnels emboîtés hiérarchisés (vue suivante).
- Les systèmes emboîtés en pédologie
 - Le pédon et ses organisations internes
 - Le pédon et les unités cartographiques
- La (nouvelle) physique du système organisé du sol
 - Modèle physique de la pédostructure
 - Les types de variables et leurs unités
 - Thermodynamique et hydrodynamique du sol
 - Dynamique du pédoclimat

I- APPROCHE SYSTÉMIQUE DE L'ORGANISATION DU SOL

Principes de la modélisation et caractérisation de l'organisation du sol

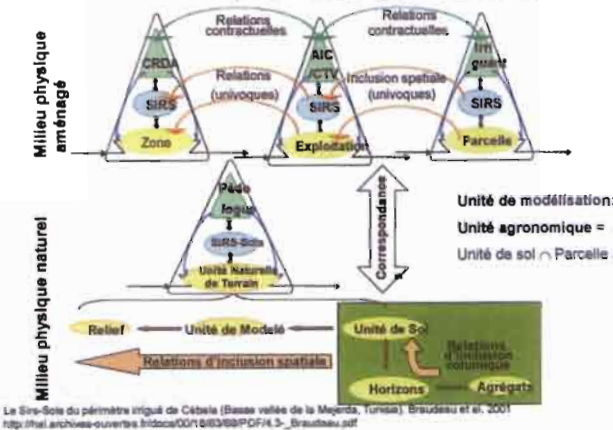
Les niveaux d'organisation internes et externes du sol

Unités cartographiques Pédon Pédostructure Ped primaire



La pédostructure est constitué de l'assemblage des peds primaires et autres grains du squelette.

Modélisation couplée Pédo-Agro-Économique

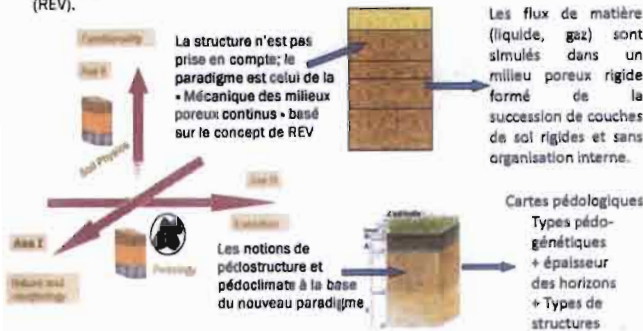


Caractérisation du sol, pourquoi et pour qui?

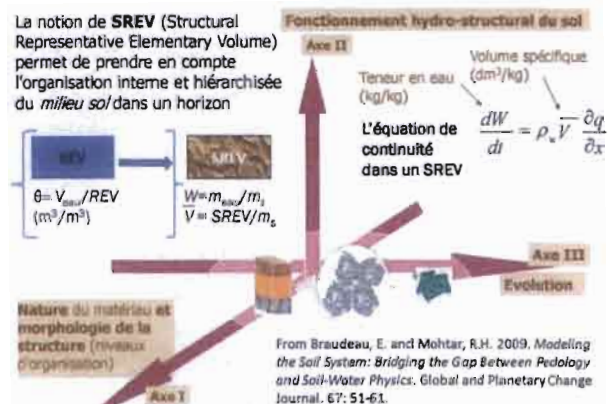
- Répondre aux 3 questions: Quel est ce sol (morphologie, composition)? Quelle est son activité (sa dynamique interne et ses échanges avec l'extérieur)? Quelle est son histoire: genèse, évolution, transformations?
- A chacune de ces questions, on répond par une description étayée d'observations caractéristiques dont certaines servent ensuite de critères de classification. On cherche en effet à définir une typologie des sols basée sur les 3 axes de descriptions (vue suivante) qui permettra :
 - De faire l'inventaire des organisations du sols et de leurs propriétés, à plusieurs niveaux d'échelle: cartes de sols ou cartes pédologiques à 1/10000 → 1/1.000.000
 - De coupler le sol, muni de ses propriétés typologiques, aux modèles des nombreuses disciplines agro-environnementales dont les objets d'étude sont tous, nécessairement en relation physico-chimique avec le sol (le sol comme milieu physique organisé, support solide contenant les systèmes biologiques et conditionnant leurs activités)

Représentation du pédon en Physique du Sol (Axe II) et en Pédologie (axes I et III)

Actuellement, en physique du sol, le pédon est un ensemble de couches homogènes, sans organisation interne, basé sur le concept de Volume Représentatif Élémentaire (REV).



Le concept de **pédostructure**, SREV du milieu sol, permet la jonction des 3 axes de description du sol



From Braudeau, E. and Mohr, R.H. 2009. Modeling the Soil System: Bridging the Gap Between Pedology and Soil-Water Physics. Global and Planetary Change Journal. 67: 51-61.

Trois types de caractérisation du sol

En référence aux trois axes de descriptions de la figure précédente:

- **Caractérisation morphologique et minéralogique des organisations:** le pédon, les horizons, de pédostucture, d'agrégats primaires
 - Taille formes, et arrangements des éléments structuraux, aux différentes échelles: profil pédologique, loupe binoculaire, MEB
 - Analyses physico-chimique traditionnelles: texture, Carbone, C/N, cations échangeables, CEC, etc.
 - Analyses minéralogiques, au MEB et micro sonde électronique
- **Caractérisation fonctionnelle de l'activité dynamique du sol:** le sol est décrit comme milieu physique organisé, aux propriétés variables d'accueil et de conditionnement, pour la vie biologique qui s'y déroule.
- **Caractérisation de l'évolution du système sol (organisation et activité)**
 - Evolution des caractéristiques du sol sous culture, sous facteurs environnementaux, transformations pédogénétiques etc.

Le paradigme actuel de la physique du sol

- Le milieu « sol » est constitué de **particules primaires** de sol assemblées entre elles en un ou plusieurs niveaux d'agrégation (agrégats d'agrégats etc.)
- Ces **particules primaires** sont classées par taille en 3 catégories : les **argiles**: <2 µm; les **limons**: de 2 à 50 µm, et les **sables** > 50 µm (sables fins de 50 à 100µm et sables grossiers de 100 à 200 µm).
- La structure qui résulte de **l'assemblage et l'arrangement de ces particules entre elles**, a des propriétés différentes selon les proportions relatives en ces 3 classes. La matière organique (MO) est aussi un composant important de la structure car elle forme un complexe avec l'argile, (le complexe argilo-humique), ce qui procure une stabilité à la structure.
- L'analyse granulométrique **donne le % en poids de sol sec: des sables, limons, argiles et de la MO**. C'est l'analyse de base pratiquée dans tous les laboratoires de sol et qui caractérise globalement un sol.

La caractérisation fonctionnelle est la moins bien connue

- La **caractérisation fonctionnelle** est celle qui amène à la modélisation du système sol-eau: elle détermine les paramètres de fonctionnement du système, c'est-à-dire les paramètres des équations qui font fonctionner le sol avec l'eau.
- Ces **équations de fonctionnement** sont établies à partir de la représentation que l'on se fait du sol. Nous verrons successivement:
 - le **paradigme actuel de la physique du sol**, reposant sur une **représentation du sol dans laquelle la structure n'intervient pas**;
 - et le **nouveau paradigme de la physique de l'organisation du sol, dans lequel cette structure est prise en compte**.
- Ce changement de paradigme est aujourd'hui nécessaire pour permettre les liens interdisciplinaires entre sciences du sol et ... pédologie

Le triangle de texture du sol



Variables et paramètres de la structure

- L'espace interstitiel créé de l'assemblage des éléments structuraux (particules, agrégats) dépend évidemment (en taille et forme) de la taille de ces éléments en contact. On peut distinguer:
 - Une **porosité plasmique, ou texturale (Por_{txt})**, celle du premier niveau d'agrégation, les agrégats primaires formés du plasma argileux.
 - Une **porosité structurale (Por_{str})**, plus grossière car formée de l'assemblage des agrégats entre eux et de l'activité biologique (racines, micro, méso faune du sol)
- La **porosité totale (Por_{tot})**, d'un échantillon de sol est la somme de ces deux porosités, soit le volume des vides par rapport au volume de l'échantillon:

$$Por_{tot} = V_{vides}/V_{ech} = Por_{txt} + Por_{str}$$

Variables et paramètres de la structure

- **Volume apparent V_{app}, volume réel V_{réel}**. Ce sont respectivement,
 - le volume occupé par la structure (V structural) et
 - le volume réel de la **phase solide** (comme si elle était continue, sans porosité d'assemblage).
- On devrait parler plutôt de volume spécifique apparent et volume spécifique de la phase solide en rapportant ces volume à la **masse de sol sec Ms**:
 - $V_{str} = V_{app}/Ms$; inverse de la **densité apparente d_{app}**
 - $V_s = V_{réel}/Ms$; inverse de la **densité réelle d_{réel}**

Variables et paramètres de la structure

- Les densités apparente et réelle, **d_{app}** et **d_{réel}**, font partie des caractéristiques mesurées couramment en laboratoire:
 - $d_{app} = Ms/V_{app}$: c'est la **masse** d'un échantillon de sol séché dans une étuve à 105°C (Ms), divisée par le volume de l'échantillon (V_{app})
 - $d_{réel} = Ms/V_{réel}$: la masse de la phase solide divisée par son volume.
- Ms, V_{app}, V_{réel}, sont les caractéristiques de « référence » d'un échantillon de sol; une méthode de mesure standard leur est associée (Ms à 105°).

Variables et paramètres de la structure

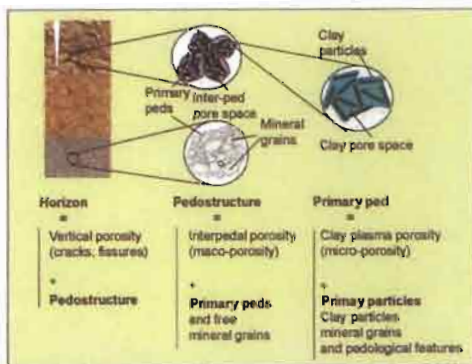
- Relation entre la porosité et la densité apparente:

$$Por_{tot} = (V_{app} - V_{réel})/V_{app} = 1 - (V_{réel}/Ms)/(V_{app}/Ms) = 1 - d_{app}/d_{réel}$$
- La variable **teneur en eau θ** (volumétrique):
 - $\theta = V_{eau}/V_{app}$
- La variable teneur en air (volumétrique)
 - $\theta_{air} = V_{air}/V_{app} = Por_{tot} - \theta = (V_{app} - V_{eau} - V_s)/V_{app}$

Variables et paramètres de la structure dans le paradigme actuel

- Dans les modèles du paradigme actuel du système sol, la seule variable définie et utilisée est la teneur en eau volumétrique θ .
- Comme toutes les variables et paramètres sont rapportés au volume apparent de l'échantillon V_{app} (sans standard défini de l'échelle d'observation), la variable Volume structural est indéterminée dans ce système de variables ($V_{str}/V_{app}=1$).
- Les paramètres caractéristiques d'un horizon du pédon, en tant que contenant, sont: θ_{sat} , d_{app} , $d_{réel}$ et L , l'épaisseur de l'horizon.

Chaque niveau d'organisation possède son lot de variables et paramètres de description propre



Braudeau, E., Frangi, J.P. and Mohtar, R.H., 2004. Characterizing non-rigid dual porosity structured soil medium using its Shrinkage Curve. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 359-370.

Équation du potentiel thermodynamique de la pédostructure

L'équation d'énergie libre de Gibbs de la pédostructure, SREV du milieu organisé d'un horizon de sol, s'écrit ainsi:

$$d\bar{G} = -\bar{S}dT + \bar{V}dP + h\bar{W} - \bar{A}d\mu_s$$

Dans laquelle les variables : entropie S , volume V , énergie G et volume d'air A , sont toutes rapportées à la masse de la structure solide m_s contenue dans le SREV, tel que:

$$\bar{G} = G/m_s; \bar{S} = S/m_s; \bar{V} = V/m_s; \bar{W} = m_w/m_s; \bar{A} = A/m_s$$

$\bar{S}(T)$, $\bar{V}(P)$, $h(W)$ et $\bar{A}(W)$ sont les équations d'état caractéristiques du milieu en fonction de sa teneur en eau θ à T , P et μ_s constants.

Un milieu homogène du point de vue de sa structure et de ses propriétés d'interaction avec l'eau (hydrostructurales) possède les mêmes équations d'état en tout point du milieu. Parmi celles-ci, les plus connues sont :

- La courbe de retrait : $\bar{V}(W)$ et la courbe de potentiel de l'eau : $h(W)$
- Elles caractérisent la fonctionnalité structurale de la pédostructure
- Elles permettent de compléter la typologie pédo-génétique des sols actuelles (qualitative) par une typologie fonctionnelle (quantitative)

From Braudeau, E. and Mohtar, R.H., 2009. Modeling the Soil System: Bridging the Gap Between Pedology and Soil-Water Physics. Global and Planetary Change Journals. 67: 52-61.

Équations de la CR et des types d'eau

Deux types d'informations: les courbes $f(W)$ et les paramètres caractéristiques qui sont les paramètres des équations de ces courbes:

$$W_{res} = W_N \frac{1}{K_N} \ln(1 + e^{K_N(W - W_N)})$$

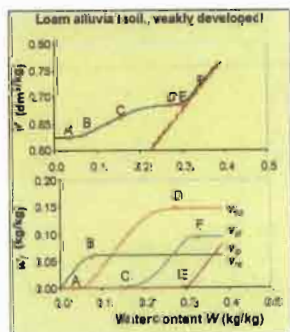
$$W_{bs} = \frac{1}{K_N} \ln(1 + e^{K_N(W - W_N)}) + \frac{1}{K_{tr}} \ln(1 + e^{K_{tr}(W - W_{tr})})$$

$$W_{se} = \frac{1}{K_{tr}} \ln(1 + e^{K_{tr}(W - W_{tr})}) - \frac{1}{K_s} \ln(1 + e^{K_s(W - W_s)})$$

$$W_{ip} = \frac{1}{K_s} \ln(1 + e^{K_s(W - W_s)})$$

$$V = V_s + K_{re}W_{re} + K_{bs}W_{bs} + K_{st}W_{st} + K_{ip}W_{ip}$$

$$K_{re} = 1; K_{bs} = 0; K_{st} = 0.03 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1}$$



Jeu de 12 paramètres ($V_s, K_{bs}, K_{st}, \dots, W_N, W_{tr}, \dots, K_N, K_{tr}, \dots$) à extraire des courbes mesurées pour décrire en totalité la variation hydrostructurale interne de l'horizon de sol. La moitié des paramètres environ peuvent être fixés.

II- CHANGEMENT DE PARADIGME

Autre système de variables et paramètres caractéristiques pour décrire et modéliser l'organisation du sol et sa dynamique hydro-structurale aux différentes échelles d'organisation

Les variables et fonctions spécifiques des organisations du système "sol"

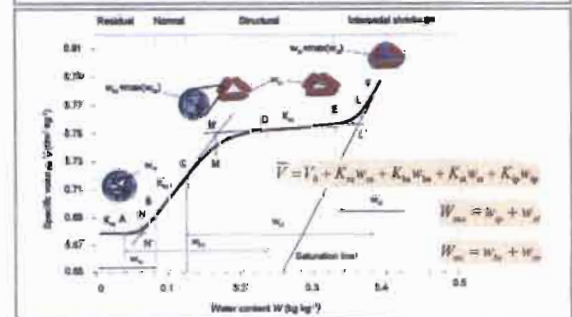
Volumes of concern	Specific volume	Specific pore volume	Water content	Non swelling water	Swelling water	Suction pressure	Conductivity
Horizon	\bar{V}_{hor}	$\bar{V}P_{hor}$	W_{hor}				
Pedostructure	\bar{V}		W			h	k
Interpedal porosity		Vp_{ms}	W_{ms}	W_{ns}	W_{sp}	h_{ms}	k_{ms}
Primary ped.	\bar{V}_{mi}	$\bar{V}P_{mi}$	W_{mi}	W_{re}	W_{bs}	h_{mi}	k_{mi}
Primary soil particles	\bar{V}_s						

The table shows all the organizational (column 2 to 6) and functional (columns 7 and 8) variables proceeding from the definitions above. All variables are referred to the structural mass composing the largest of the nested considered volumes;

La courbe de retrait, caractéristique de l'organisation interne de la pédostructure

Shrinkage curve : $\bar{V}(W)$

\bar{V} : Specific Volume of the pedostructure in dm^3/kg
 W : Mass soil water content in kg/kg



Braudeau, E., Frangi, J.P. and Mohtar, R.H., 2004. Characterizing non-rigid dual porosity structured soil medium using its Shrinkage Curve. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 359-370.

Equations physiques des trois autres courbes caractéristiques de la pédostructure

Water Potential curve : $h(W)$

Macroscopic system (inter aggregates)

$$h_{ms} = P_{s_{ms}} - P_{s'_{ms}} = \frac{\rho_w E_{ms}}{W_{ms} + \sigma} - \frac{\rho_w E_{ms}}{W_{ms} - W_{re} + \sigma}$$

Microscopic system (intra primary peds)

$$h_{mi} = P_{s_{mi}} - P_{s'_{mi}} = \frac{\rho_w E_{mi}}{W_{mi}} - \frac{\rho_w E_{mi}}{W_{tr} - W_{re}}$$

Swelling curve : $V(t)$

The dynamic of primary aggregates vs time: $\frac{dW}{dt} = k_{tr}(h_{mi} - h_{ms})$

Transfer rate coefficient for the absorption-desorption of the interpedal water by the primary peds:

$$k_{tr} = \frac{1.931(W_{tr} - W_{re})^2}{\rho_w E_{mi} t_{1/2}}$$

Hydraulic conductivity curve : $K(W)$

Hydraulic conductivity of the interpedal (structural) porosity of the pedostructure

$$k_{ms} = \frac{k_{ms} e^{-\alpha W}}{k_{ms} e^{-\alpha W} + \rho_w e^{-\alpha W_{tr}}}$$

*Braudeau, E. and Mohtar, R.H., 2004. Water potential in non rigid unstructured soil-water medium. Water Resources Research 40, W02108.
 * Braudeau, E. and Mohtar, R. H., 2008. Modeling the Swelling Curve for Fused Soil Aggregates Using the Pedostructure Concept. Soil Sci. Soc. Am. J. 72, 494-502.

Caractérisation hydrostructurale de la pédostucture

III- CARACTÉRISATION EN LABORATOIRE DE LA PEDOSTRUCTURE

Appareillages de mesure des courbes de retrait et de potentiel et extraction des paramètres caractéristiques

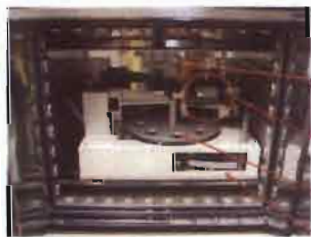
- La caractérisation hydrostructurale de la pédostucture consiste en
- 1) La mesure des courbes caractéristiques, les équations d'état, de la pédostucture: la CR et la CP, puis
 - 2) L'extraction des paramètres de ces équations.

A) Mesure de la courbe de retrait (CR)

- Appareillage : le rétractomètre
- Préparation des échantillons
- Mesure en continu et compléments de mesure
- Feuille d'analyse et de résultats

B) La courbe de potentiel de l'eau

Dispositif de mesure de la courbe de retrait: le rétractomètre



- Chambre climatique à 40°C
- Zone de mesure, spot (hauteur), barrières laser (diamètre)
- Plateau tournant, montée descente des échantillons, 8 positions
- Balance numérique

Rétractomètre

Dispositif de mesure de la CR



- Spot (Mesure de hauteur)
- Échantillon
- Barrières laser
- Porte échantillon

Préparation des échantillons



Prélèvement par cylindres dans un horizon de sol, échantillons à structure non remaniée



Bac à sable permettant la mise à saturation des échantillons (équilibre à une succion de -10 cm d'eau)

La feuille d'analyse

Données de l'échantillon	
Nom	
Localisation	
Date d'acquisition	
Type de sol	
Appareil utilisé	

Temps (heures)	W	U _{calc} relatif	U _{calc} relatif	U _{calc} relatif	U _{calc} relatif	U _{calc} relatif	U _{calc} relatif	U _{calc} relatif	U _{calc} relatif
0.2	0.373								
0.3	0.371								
0.5	0.369								
0.7	0.367								
0.9	0.365								
1.0	0.364								
1.2	0.363								
1.4	0.361								
1.8	0.360								
1.7	0.359								
1.9	0.357								
2.1	0.356								
2.3	0.355								
2.5	0.353								
2.6	0.352								
2.8	0.351								
3.0	0.349								
3.2	0.348								
3.3	0.348								
3.5	0.345								
3.7	0.344								
3.8	0.340								

Nom des échantillons, provenance, observations sur l'état de l'échantillon et le déroulement de l'expérimentation

Détermination de la masse sèche de l'échantillon pour le calcul de la teneur en eau [W= Pds eau/Pds solide = Pds éch/Pds solide - 1]

Détermination du volume spécifique de l'échantillon sec V₀ pour le calcul de la CR: V = V₀ + K_{bs} w_{bs} + w_{wp}

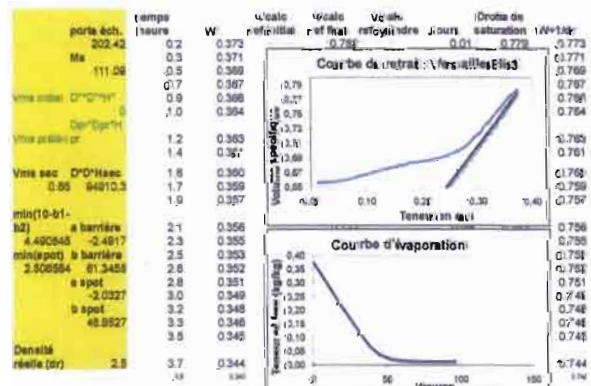
Détermination du vol spécif de la phase solide (V_s) pour le calcul de la teneur en air: V_{air} = V - W - V_s

Photo d'une série de 7 échantillons avant la mise au rétractomètre

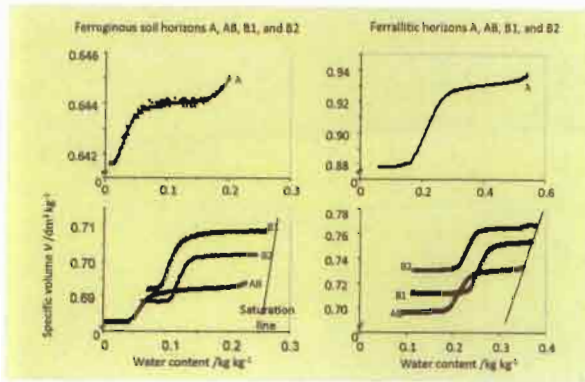


Une photo des échantillons avant et après la mesure est une indication sur le bon déroulement de la mesure (retrait homogène, pas de fissuration ...) et donc la fiabilité du résultat.

Feuille résultat type



Exemples de courbes de retrait

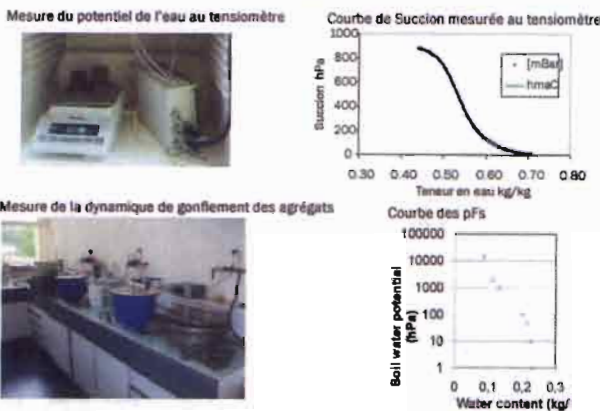


Caractérisation hydrostructurale de la pédostructure

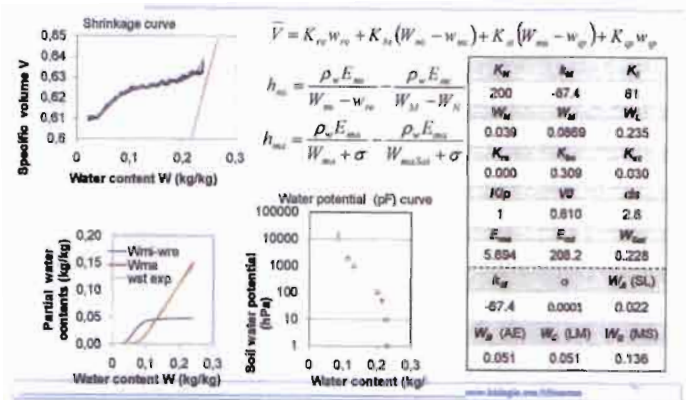
B) La courbe de potentiel de l'eau

- a) avec mini tensiomètre de labo
 - Appareillage
 - Préparation des échantillons
 - Mesure en continu et compléments de mesure
 - Feuille de résultats (courbes continues de 0 à 60 kPa)
- b) à la presse à plaque poreuse
 - Appareillage
 - Préparation des échantillons
 - Mesure dans l'appareil de Richards (presse à plaque poreuse)
 - Feuille de résultats (points de mesure de 0 à 1500 kPa)

Mesure de la courbe de potentiel au tensiomètre et à la presse à plaque poreuse



Extraction des paramètres des courbes mesurées

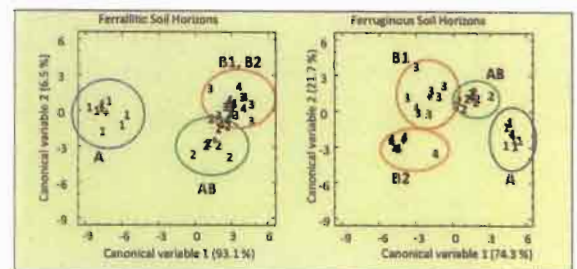


Exemple de détermination des 15 paramètres du fonctionnement hydro-structural d'un sol

Extrait de: Paramètres	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4
Courbes de retrait	K_{ms}	0.5	0.5	0.5
	W_{ms}	0.725	0.457	0.847
	W_{ms}	0.719	0.429	0.817
Courbes de retrait et potentiel	K_{ms}	8.128	0.942	0.972
	W_{ms}	0.549	0.270	0.310
	K_{ms}	410	184	94
	K_{ms}	37	20	18
Courbes de potentiel	K_{ms}	0.4	1.0	1.6
	σ	0.0001	0.0001	0.0001
	E_{ms}	8.8	13.8	21.2
	E_{ms}	9.0E-06	2.6E-04	1.6E-04
Courbe de Conductivité	α_{ms}	75.0	68.6	66.7
	K_{ms}	1.7E-10	8.8E-12	1.0E-11
	α	278	238	194
Gonflement	K_{ms}	30	30	30

Kamel® parameters calculated from the measured data of Davidson et al. (1969)

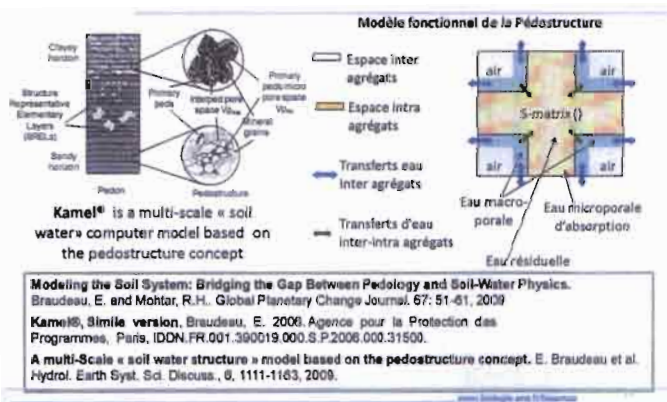
Exemple d'application: Différentiation des horizons de 2 sols types par leurs courbes de retrait



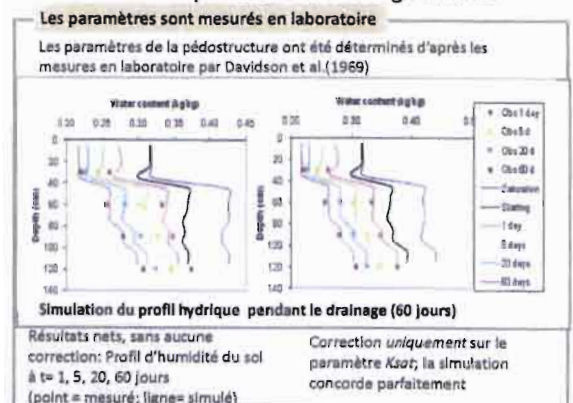
Analyse discriminante des horizons de deux sols types du Congo et du Sénégal par leurs paramètres caractéristiques de la CR. Les nombres 1, 2, 3, et 4, indiquent les horizons A, AB, B1, et B2, respectivement.

Braudeau, Sene, Mohtar. 2005. Hydrostructural characteristics of two African tropical Soils. European Journal of Soil Science; 56, 375-388.

Autre application: Simulation dynamique du Pédon, de la pédostructure et du pédoclimat par Kamel®



Test sur le modèle "Sol-eau" Kamel dans une expérience de drainage interne



A multi-Scale « soil water structure » model based on the pedostructure concept. E. Braudeau et al. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 6, 1111-1163, 2009

Conclusion I

- Nous avons présenté une toute nouvelle manière de caractériser et modéliser les propriétés physiques du sol, lesquelles sont entièrement dépendantes de la structure hiérarchisée de la phase solide et de son interaction énergétique avec l'eau.
- Cette nouvelle manière constitue un nouveau paradigme de la physique du sol qui renoue avec la Pédologie et l'approche systémique des organisations naturelles; détrônant en cela l'ancien paradigme basé sur la mécanique des milieux poreux continus où la structure n'est pas définie.
- Loin de nous amener à tout effacer pour recommencer à zéro, la pédologie hydrostructurale offre un nouveau cadre de référence, générique cette fois, à la modélisation, l'instrumentation, la recherche, la constitution des bases de données géoréférencées et l'expertise, en sciences agroenvironnementales, **concernant toutes relations entre les objets d'étude de ces disciplines avec le sol.**

www.sciences.univ-limoges.fr

Conclusion II

- Concernant les sols, non seulement la masse d'information existante (cartes pédologiques notamment, bases de données), peut (et devrait) être réactualisée dans ce nouveau paradigme (introduction en SIRS-Sols) mais aussi les principes de base des nouveaux moyens de mesure ou d'investigation, comme les techniques géophysiques ou l'imagerie satellitaire pour le zonage et la reconnaissance des sols, devraient être recadrés dans ce nouveau paradigme.
- Finalement, la méthodologie de *modélisation physique et systémique* du sol présentée ouvre l'accès:
 - À une **typologie des sols** qui permet la comparaison des études géographiquement distantes
 - À une **réactualisation des cartes pédologiques** (SIRS-Sols) pour la modélisation globale de l'état, de l'activité et l'évolution des processus du sol
 - Au **couplage de modèles** biologiques et géochimiques avec le type de sol (interdisciplinarité);
 - À la **recherche fondamentale** sur les mécanismes d'interaction entre l'eau et la phase solide du solide

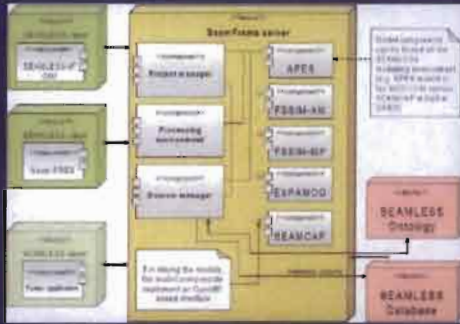
www.sciences.univ-limoges.fr

APES

An example of Kamel model integration

Eric Casellas

Tunis, 2011, 2nd of december



SEAMLESS IP software infrastructure: 4th EU SEAMLESS+1 event and end-user workshop applications, October 19th-20th 2008

SEAMLESS project

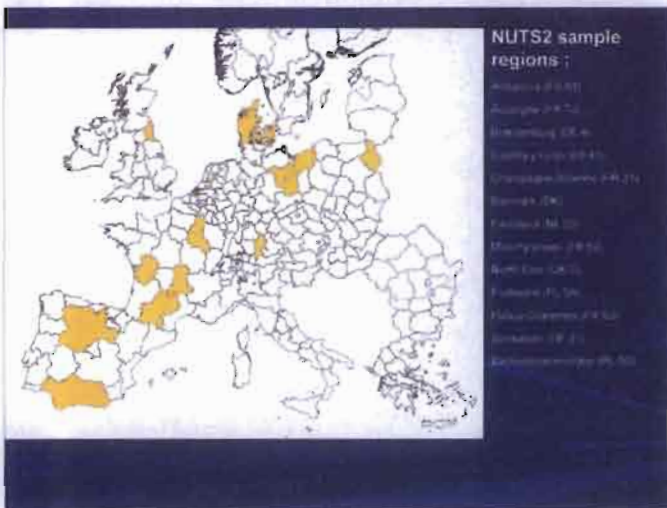
2005-2009

Developed an Integrated Framework for Integrated Assessments based on linkage of individual components (models, data, indicators) that enables analyses of the environmental, economic and social contributions of a multi-functional agriculture and the effects of a broad range of issues (e.g. climate change, new policies, innovation).



<http://www.seamless-ip.org/>
<http://www.seamlessassociation.org/>

Agro-Environmental Zones (AEnZ)



APES

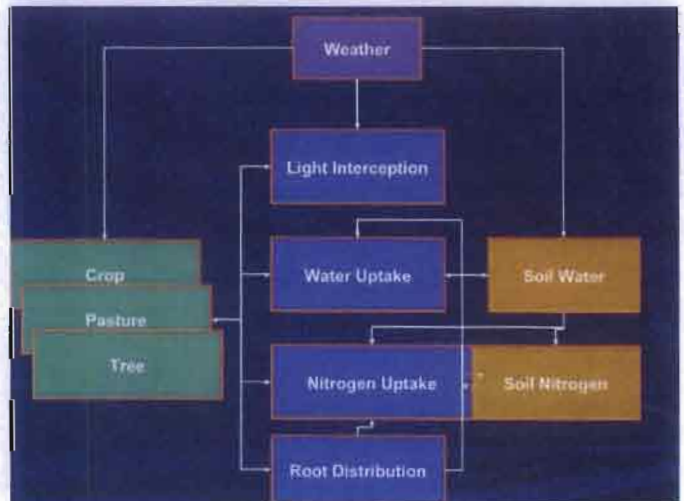
Agricultural Production and Externalities Simulator

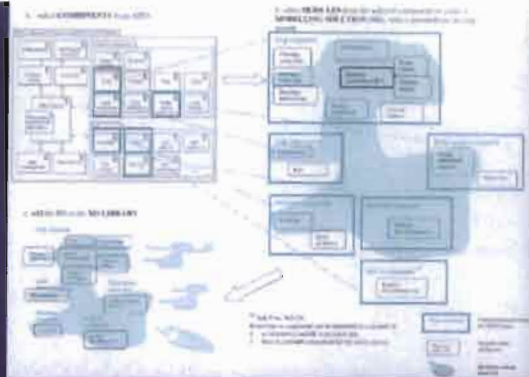
- Bio-physical Plant-Soil-Athmosphere model
- Daily time-step, 1D model, plot scale
- Modular and replaceable components
- Simulation framework : Modcom

<http://www.apesimulator.org/>

APES main components

- **Plant Growth**
 - Crop (WUR)
 - Tree, vineyard, orchard (INRA)
 - Pasture (INRA)
- **Soil dynamics**
 - Soil water dynamic (INRA & CIRAD/IRD)
 - Soil nitrogen dynamic and competition (INRA & CIRAD)
- **Competition among plants**
 - Light interception (INRA)
 - Water uptake (INRA)
 - Root soil profile distribution (INRA)
- **Others**
 - Weather (CRA)
 - AgroManagement (CRA)





Representation of APES modularity and flexibility with different levels of granularity: a) the components, software units used for composition, b) the modules, conceptualisation of a process within a component, c) the modelling solutions (MS), combination of different modules depending on the objective of the simulation. Source: Adam et al. (2011)

Modcom

overview

- Manage :
 - Simulation environment
 - Exchanges of variables among components
 - Integration of State variables

APES components

General architecture

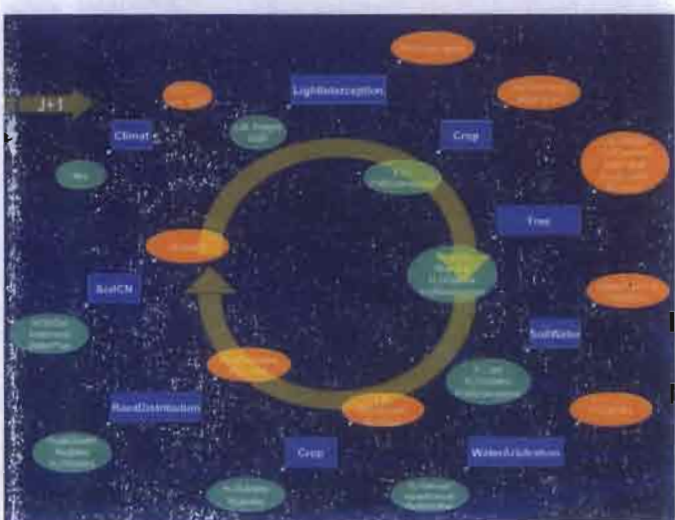
- Component + Modcom Wrapper
- Strategy design (modularity of strategies)
- Common interfaces (components replaceability)
- Events (agro management)
- Pre/post condition tests

APES components

Daily loop

- Initialization :
 - StartRun
- Time-step :
 - HandleEvent
 - BeforeIntegration
 - GetRates
 - AfterIntegration

	HandleEvent	BeforeIntegration	GetRates	AfterIntegration
Module n-1	1	9	17	25
Module n-2	2	10	18	26
Module n-3	3	11	19	27
Module n-4	4	12	20	28
Module n-5	5	13	21	29
Module n-6	6	14	22	30
Module n-7	7	15	23	31
Module n-8	8	16	24	32



Advantages of modularity

The advent of component-based software engineering has enabled the development of scalable, robust, large-scale applications in a variety of domains, including agro-ecological modelling. This type of implementation has at least two major advantages:

- New models can be constructed by connecting existing component models of known and guaranteed quality to new component models.
- The predictive capabilities of two different component models can be compared, as opposed to comparing whole simulation systems as the only option.

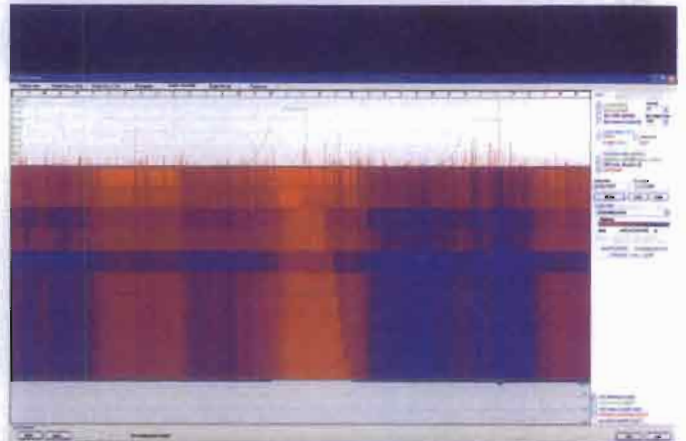
Limitations of modularity

Developing a simulation system based on the component-oriented paradigm poses specific challenges, both in terms of biophysical model linkages, and implementation architecture.

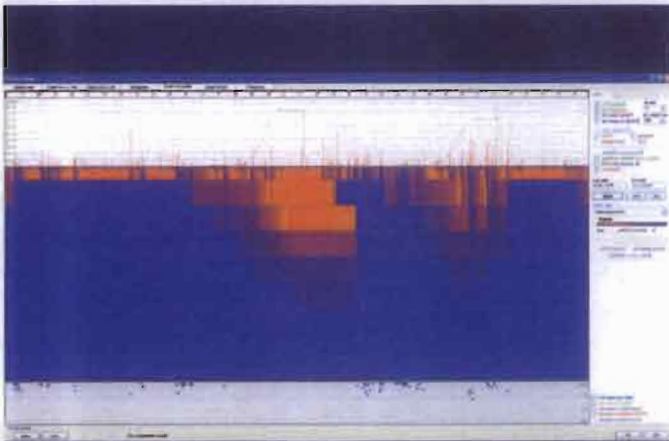
- Component-based architectures demand the definition and implementation of sub-systems which minimize the need for links to other components, and the need for repeated communication between components. However, even when a system to be simulated is divided into sub-systems with little need for communication between them, data exchange prior to integration within a time step is needed.
- Thus an articulated interface is needed that allows such calls.

Thank you for your attention

Questions & demo of APES



Simulation APES bié Midi-Pyrénées, Directive Nitrates Avec Kamel



Simulation APES bié Midi-Pyrénées, Directive Nitrates Avec SoilWater (Cascading et Curve Number)



Mesure des caractéristiques hydro-physiques des sols par la méthode Rétractométrique au Laboratoire de la Direction des Ressources en Sol /DGACTA
Measurement of soils hydro-physic characteristics by the Retractable method in the soil laboratory DRS/DGACTA

ZIDI Ch.

Elles sont utilisées et Interprétées dans le secteur agricole pour estimer la réserve en eau du sol (d'après sa courbe des pF), son comportement mécanique sous culture, ses qualités structurales (d'après la granulométrie, la porosité, la densité apparente) etc.

They are used and interpreted in the agricultural sector to estimate the water reserve in soil (from its pF curve), its mechanical behavior under culture, its structural qualities (based on grain size, porosity, apparent density) etc.

Un procédé d'analyse de la C.R. a donc été élaboré, le programme «CARHYS», conduisant à la détermination quantitative d'importantes caractéristiques du sol, notamment les réserves en eau, les volumes poreux fonctionnels et les états hydro-structuraux particuliers du sol.

A method for analysis of the shrinkage curve, was developed, the program "CARHYS", leading to quantitative determining of important characteristics of the soil, especially water supply, functional pore volumes and specific hydro-structural states of soil.

Comme tout laboratoire des sols en pédologie, le laboratoire de physique du sol de la Direction des Sols a pour fonction d'analyser et caractériser les propriétés physiques du sol en relation avec son utilisation agricole, un petit nombre d'analyses classiques qu'il effectue de manière courante :

- la mesure du pF à la presse à plaque poreuse
- la granulométrie
- la masse volumique réelle et apparente
- l'humidité

As all soil laboratory in soil science, soil physics laboratory management is to analyze and characterize the physical properties of soil in relation to agricultural use, a small number of conventional analyses it takes common manner:

- the measurement of the pF with porous plate press
- the grain size
- the real and apparent density
- the moisture

Une analyse beaucoup moins courante est venue s'inscrire dans cette panoplie de mesures.

Elle vient non seulement la compléter mais aussi la rendre plus cohérente et efficace dans l'interprétation de ses résultats d'analyse. Il s'agit de la mesure de la courbe de retrait, représentant la rétraction du sol en fonction de sa teneur en eau. Cette mesure est faite à l'aide d'un appareil spécialement conçu, appelé rétractomètre.

A much less common analysis came to register in this range of measures. It is not only to complete it but also to make it more coherent and effective in the interpretation of the analysis results. It is the measure of the shrinkage curve, representing the retraction of the soil, as a function of water content. This measurement is made using a specially designed instrument, called retractometer.

LE RETRACTOMETRE

L'appareil a pour fonction de mesurer simultanément et en continu:

- le poids P, - la hauteur H - le diamètre D

d'échantillons cylindriques de sol en train de sécher, en série de huit échantillons à la fois, passant de l'état très humide et gonflé, à l'état sec et contracté.

Les conditions d'évaporation de l'eau de l'échantillon sont maintenues approximativement constantes dans une enceinte fermée et ventilée (étuve portée à 30°C) pour assurer une évaporation rapide et régulière.

Les variables mesurées permettent ensuite de calculer la courbe de retrait, $v = f(\theta)$, et la droite de saturation

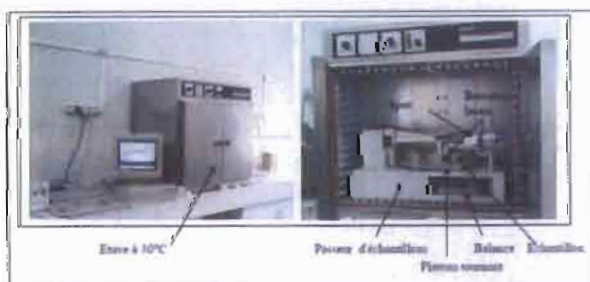
RETRACTOMETER: the instrument function is to measure simultaneously and continuously: - the weight P, - the height H - the diameter D of cylindrical samples of soil are dry, series of eight samples at a time, from the very wet and inflated state to the dry and contracted one. The condition of water evaporation from the sample are maintained approximately constant in a closed and ventilated chamber (oven to 30 ° C) to ensure regular and rapid evaporation. The measured variables allow then to calculate the curve of shrinkage, $v = f(\theta)$, and the saturation line.

Les différentes parties du rétractomètre

- le passeur d'échantillon
- l'unité de mesure : balance, spot et barrières laser
- le boîtier de contrôle et de saisie des données
- le micro ordinateur muni d'une carte de saisie de données

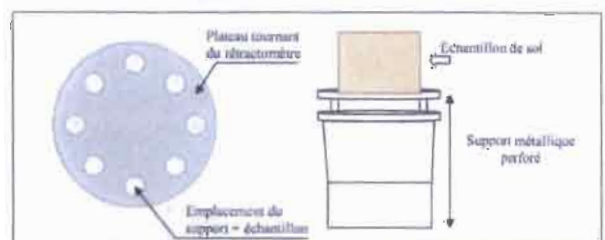
The different parts of retractometer

- the auto sampler
- the unit of measure: balance, spot and barriers laser
- data entry and control enclosure
- The computer equipped with a data entry map.



Le passeur d'échantillons:

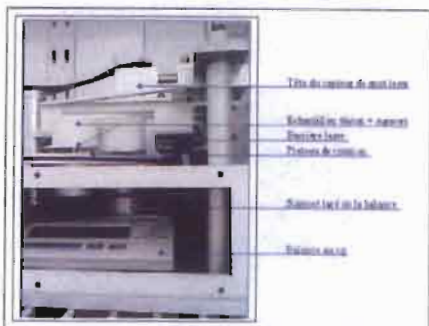
- grand plateau cylindrique comportant huit postes de mesure
 - colonne de levage actionnée par un moteur tri-phasique, assurant le déplacement vertical du plateau
 - d'un second moteur pour la rotation
- The samples changer:** large cylindrical tray with eight positions for measuring - lifting column powered by a three phase motor, ensuring the vertical displacement of the plateau - a second motor for the rotation



L'unité de mesure:

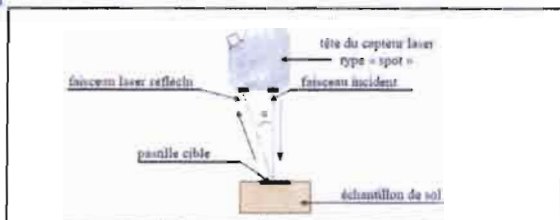
Elle est constituée de trois éléments permettant la mesure à intervalle de temps régulier de la variation du diamètre (barrières lasers), de la hauteur (spot laser) et de la masse de l'échantillon de sol.

The measure unit : it consists of three elements for the measurement at regular time of the diameter variation (lasers barriers), height (laser spot) and the soil sample mass.

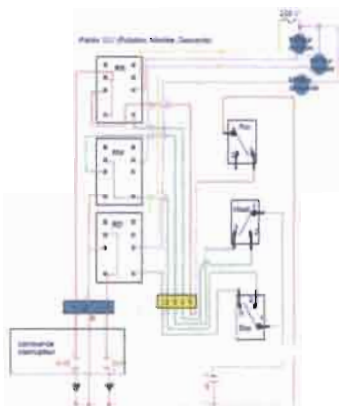


Le capteur laser sans contact : type Keyence LB72. Ce capteur de déplacement mesure la variation de la hauteur de l'échantillon de sol tout au long de son retrait. D'une manière générale, il calcule la distance qui sépare un objet à mesurer d'un récepteur (détecteur photodiode). Dans notre cas, la cible sera une pastille métallique posée à plat sur l'échantillon. Le principe de fonctionnement de ce capteur repose sur la méthode de triangulation optique.

The non-contact laser sensor: type Keyence LB72. This displacement sensor measures the variation of the sample height of soil throughout its shrinkage. In general, it calculates the distance from an object to measure to a receiver (photodiode detector). In our case, the target will be a metal pellet laid flat on the sample. The operation principle of this sensor is based on the optical triangulation method.



Le boîtier de contrôle d'acquisition de données
The data acquisition control box



Humectation des échantillons

L'humectation se fait sur un bac à sable maintenu à une succion de -10 mbars à l'aide d'un vase de Mariotte. L'échantillon est posé sur le sable, séparé par un tissu très fin.

L'ensemble des échantillons est recouvert d'une plaque pour limiter l'évaporation. Trois étapes précèdent les mesures du retrait, à savoir l'humectation des échantillons, le dessèchement et la ré-humectation.

The samples wetting:

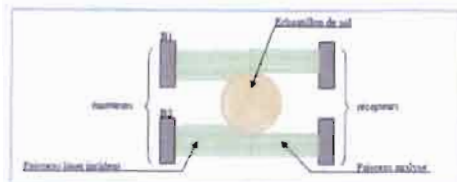
The wetness take place on a sand tray maintained at a suction of -10 mbar with a Mariotte vase. The sample is placed on the sand, separated by a very fine textile. All of the samples is covered with a plate to limit evaporation. Three steps above the measures of shrinkage, namely the wetness of the samples, drying and re-wetness.



Deux capteurs optiques sans contact: il s'agit de deux capteurs de type photoélectrique à barrières lasers de type Keyence LX2-70. Les capteurs mesurent en continue la diminution du diamètre de l'échantillon de sol entre les deux faisceaux laser tout au long de son retrait.

Comme l'objet mesuré intercepte partiellement le faisceau laser, le changement de la taille de l'ombre est traduit par un changement de la quantité de lumière reçue (voltage).

Two optical sensors without contact: it is two photoelectric sensors with laser barriers (Keyence LX2-70). The sensors measure continuous reduction of the sample diameter of soil between the two beams laser through its shrinkage. As the measured object partially intercepts the laser beam, the change of the size of the shadow is translated by a change in the amount of light received (voltage).



Balance électronique : au cg de portée maximale 1600 g (Mettler - Toledo PB 1502).

Elle mesure en continu la diminution du poids de l'échantillon pendant son retrait et est reliée directement à l'ordinateur par l'intermédiaire d'une interface série de type RS-232.

Electronic balance: (cg) with maximum scope :1600 g (Mettler - Toledo PB 1502). It measured in continuing the reduction of the sample weight during its shrinkage and is connected directly to the computer through an interface type RS-232 series.

Prélèvements des échantillons

L'analyse rétractométrique pratiquée sur des échantillons de sol reconstitués, à la même masse volumique apparente que le sol en place. Les cylindres de sol sont alors fabriqués à partir du sol ramené en vrac au laboratoire puis désagrégé délicatement sur un tamis de 2 mm(terre fine). Un mélange homogène est entassé dans un cylindre en PVC puis humecté sur une plaque poreuse saturée d'eau (12h).

Soil sampling

The shrinkage analysis on reconstituted soil samples, at the same apparent volume mass than the soil in place. Soil cores are then made from the given soil in bulk to the laboratory and then gently disaggregated on a 2 mm sieve (fine land). A homogeneous mixture is piled in a PVC cylinder and then moistened on porous plate saturated (12 h).

Mise en route du rétractomètre (Prog. TRACTIS)

Le fichier programme TRACTIS.GNI est développé sous Genie. Un tableau de bord s'affiche à l'écran permettant la mise en marche de l'appareil (en cliquant sur ON) et le suivi des mesures.

Implementation of the retractometer (TRACTIS Prog.)

The program file TRACTIS.GNI is developed under "Genie". A dashboard is displayed on the screen for the unit starting (by clicking on it) and monitoring measures.



Initialisation de la balance : elle consiste à établir la liaison entre l'ordinateur et la balance par l'intermédiaire d'une interface série de type RS-232. On appuie sur l'icône « Balance » qui est en fait un raccourci pour le fichier «Balance.TRM» ; ce dernier comporte des touches de fonction développées sous TERMINALEXE de Windows 3.1 (appuyer une ou deux fois sur la touche « stable »).

Initialization of the balance: it is to establish the link between the computer and the balance through an interface type RS-232 series. Click on the icon "Balance" which is actually a shortcut for the file «Balance.TRM»; which one has been developed under TERMINALEXE function keys for Windows 3.1 (click one or two times on the "stable" key).

echantillon	laserR1	laserR2	spotLaser	balance	minutes
1	4.8828	4.7672	4.4467	256.78	0
2	3.2129	3.2072	4.4582	281.05	1
3	4.2729	3.9429	3.7820	276.18	2
4	3.1885	3.1359	3.9983	297.98	3
5	2.1880	2.4485	3.0423	309.49	4
6	4.0781	4.0772	3.3008	290.12	5
7	1.8236	1.7578	3.1624	302.46	6
8	4.4170	4.5123	3.2904	307.32	7

etalonnage:	youacbl:	youacxp:	yobl:	Youp:
-2.482404	-4.822997	71.90223	49.47623	

calibspot	a.2304	b.2304	baseSpot:
	328.49		49.42027

Structure du fichier etalcap.inf
The etalcap.inf file structure

Etalonnage du spot vertical et des demi - barrières horizontales

L'étalonnage de l'appareil permet la conversion des données du spot et des barrières laser, des volts en millimètres. Les paramètres d'étalonnage sont stockés dans le fichier *etalcap.inf*.

On distingue l'opération d'étalonnage, qui donne la pente *a* et la constante *b* de la droite de régression, de la simple opération de calibrage qui ne donne que la constante *b* mesurée sur un seul étalon. L'étalonnage s'effectue de temps en temps, avec 8 étalons, pour vérification des paramètres. Le calibrage est par contre réalisé plus fréquemment à chaque fois que la position du spot ou des barrières a été modifiée pour adapter le dispositif à la taille des échantillons.

Calibration of the vertical spot and the horizontal semi-barriers

The calibration of the apparatus enables the data transformation from the spot and barriers laser, from volts to millimeters. Sizing parameters are stored in the "etalcap.inf" file.

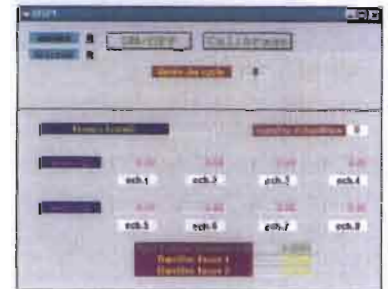
One distinguishes the calibration operation, which gives the slope *a* and the constant *b* of the regression line, from the simple operation of calibration which provides the constant *b* which is measured on a single standard. The calibration is done from time to time, with 8 standards to verify settings. Sizing is done more frequently whenever the position of the spot or barriers has been modified to suit the device to the size of the samples.

Les deux opérations d'étalonnage et de calibrage sont possibles avec le programme écrit sous "Genie" : ETALCAL.

Le tableau de bord du programme est donné ci-dessous.

The two calibration and Sizing operations are possible with the program written in "Genie": ETALCAL.

The dashboard of the program is given below.



Déroulement de l'expérimentation: Le fichier des données brutes

Le moment choisi pour effectuer des mesures est celui où l'ensemble support et échantillon repose sur la balance avec stabilité des lectures. Une moyenne de 10 mesures des capteurs laser est enregistrée en même temps que le poids (stable).

Le temps accordé à l'ensemble des opérations de descente, de remontée et de rotation du plateau est de 1 minute. En conséquence, pour un seul échantillon, on aura une mesure toutes les huit minutes. Le fichier des données, de type texte, est enregistré toutes les 80 mn sous le nom RET##.TXT (## pour le numéro de fichier).

The experimentation course: The raw data file

The timing measurements is where all support and sample is based on the balance with stable readings. An average of 10 measurements of the laser sensor is registered at the same time that the weight (stable). The time given to all of the operations of descent, lift and rotation of the plateau is 1 minute. Therefore, for a single sample, there will be a measure every eight minutes. The text data file is recorded every 80 minutes as RET##.TXT (## for the file number).

echantillon	laserR1	laserR2	spotLaser	balance	minutes
0	3.9277	3.2354	2.4323	341.23	1958
1	3.8223	3.8089	2.9591	322.85	1960
2	2.9809	3.7266	1.4324	243.72	1961
3	4.2959	3.0113	3.2749	300.27	1962
4	3.4442	3.2231	3.1660	341.56	1963
5	3.7766	3.0067	3.1294	308.11	1964
6	3.8825	3.4893	3.7359	344.20	1965
7	4.8742	2.9880	4.0118	309.49	1966
8	3.9205	3.2275	2.4324	341.02	1967
9	3.8119	3.8181	3.8994	342.79	1968
0	3.9834	3.7786	1.6821	345.63	1969
1	3.2423	3.0225	2.2721	254.18	1970
2	3.4819	3.1740	3.1123	341.47	1971
3	3.9405	3.0520	3.2143	308.14	1972
4	3.8979	3.6294	3.7460	344.11	1973
5	4.2326	3.0305	4.0227	329.71	1974
6	3.8975	3.2004	4.4341	348.95	1975
7	3.8231	3.9124	2.6377	332.66	1976
8	3.0078	3.7031	1.4866	145.85	1977
9	4.2289	3.0449	3.2808	352.19	1978
0	3.4307	3.2324	2.1643	347.37	1979
1	3.7489	3.9129	3.1247	339.09	1980
2	3.6885	3.4336	2.7415	268.02	1981

Exemple de fichier Ret##.txt
Example of Ret ##.txt file

Déterminations des données complémentaires

Ces données sont nécessaires aux calculs de la courbe de retrait, $v = f(\theta)$, et de la droite de saturation, $v = v_s + \theta$

- La masse de l'échantillon sec (105 °C), M_s
- Le volume massique de l'échantillon sec, V_{ms_0}
- Le volume massique réel de la phase solide, $V_s (= 1/d_s)$

Determinations of complementary data

These data are necessary for the calculations of the shrinkage curve $v = f(\theta)$, and the saturation line, $v = v_s + \theta$

- The mass of the dry sample (105°C), M_s
- The mass volume of dry sample, V_{ms_0}
- The real mass volume of the solid phase, $V_s (= 1/d_s)$

Traitement des données rétractométriques par le programme CARHYS:

Caractérisation des états hydriques du sol.

Le programme CARHYS reprend les fichiers des données brutes (*.RET) précédents pour, tout d'abord, calculer la courbe de retrait, puis l'analyser de façon à en extraire les paramètres caractéristiques de la structure fonctionnelle de l'échantillon de sol, encore appelée « pèdostructure ».

Data Processing by the CARHYS program : characterization of the soil water states.

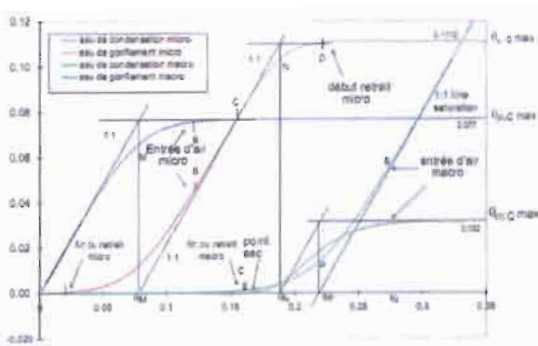
The CARHYS program takes the precedents raw data files (*.Ret) for, first, calculate the curve of shrinkage, then analyze it to extract the characteristic parameters of the functional structure of the soil sample, still called "pedostructure."

Les fonctions de CARHYS sont inscrites dans le menu ci dessous.

M E N U :	
* VISION ET CORRECTION DES DONNEES BRUTES	(1)
* CALCUL DE LA COURBE DE RETRAIT	(2)
* RECHERCHE DES POINTS (manuel)	(3)
* RECHERCHE DES POINTS (automatique)	(4)
* CHANGEMENT DES PARAMETRES DE DEPART	(5)
* SORTIE DES RESULTATS	(6)
Dossier : R0112a8	
Imprime	
POUR QUITTER ——— [Q]	
Répertoire : C:\retrato\r0112a8	Liste
Echantillon : S14	Traitement (le : 10/02/98)
IMANUEL 2 3 4 5MACRO 6TRSPOS7 8 9 10	

The functions of CARHYS are listed in the above menu below

M E N U :	
* VISION AND CORRECTION OF RAW DATA	(1)
* CALCULATION OF THE WITHDRAWAL CURVE	(2)
* RESEARCH POINTS (manual)	(3)
* RESEARCH POINTS (automatic)	(4)
* CHANGE SETTINGS START	(5)
* PRESENTATION OF RESULTS	(6)
Folder : R0112a8	
Print	
TO QUIT ——— [Q]	
Register : C:\retrato\r0112a8	List
Sample : S14	Treatment (10/02/98)
IMANUEL 2 3 4 5MACRO 6TRSPOS7 8 9 10	



Résultat sous forme graphique de l'analyse de la courbe de retrait de l'échantillon de sol.

Result in graphical form of the soil sample shrinkage curve analysis.

Quelques applications de la méthode à la DRS:

- Le SIRS-Sols du périmètre irrigué de Cebala-Borj-Touil dans la Basse Vallée de la Majerda (2000)
- Effet de la texture, de la salinité et de la MO sur les propriétés hydriques des sols par analyse de leurs courbes de retrait. (2004)

*

SIRS DES SOLS IRRIGUÉS DE LA BVM

Système d'Information à Référence Spatiale

Basse Vallée de la Méjerda



Le Périmètre de Cebala

(Convention DS-IRD 1997-2000)

EQUIPE DU PROJET

De la Direction des Soils :

- M. Ch. Derouiche : travaux GIS et bases de données, missions GPS, élaboration des Modèles Numériques de Terrain (MNT), réalisation des cartes physiographique et pédologique.
- A. Loukil : cartographie géomorphologique et pédologique, interprétation des photos aériennes, description et analyse des sols, levées topographiques et parcellaire des segments, suivi agronomique.
- C. Zidi : Responsable du laboratoire de rétractométrie : standardisation de la méthode de mesure de la courbe de retrait, dépouillement des données rétractométriques, mesure des propriétés physiques annexes, analyse et archivage des données, maintenance et suivi de la station météo in situ.

De l'IRD :

- E. Braudreau : coordinateur principal du programme, mise en place méthodologique du laboratoire de caractérisation physique des sols, modélisation hydrostructurale du sol, formalisation des résultats d'analyse pour la modélisation agronomique.
- D. Declusau : GIS et catalogue des données

INTRODUCTION

Devant la volonté actuelle des pays à mettre en place des systèmes aménagés durables, visant à une production optimisée, une amélioration des conditions d'exploitation, une préservation du système etc... le SIG ne peut plus être seulement une simple cartothèque qui rassemble les documents cartographiques existant sur une zone et présentant le milieu (infrastructure, organisation sociale et administrative, sols, peuplements, bâtis etc...) et ses points de contrôle, de suivi etc.; il doit aussi être un support d'informations fiables pour la modélisation du fonctionnement du système aménagé et sa simulation dans le temps, afin de pouvoir répondre aux grandes questions stratégiques que se pose un pays en matière d'aménagement du territoire et d'impact de ces aménagements dans le long terme.

C'est à propos de ce dernier point que nous voulons présenter ce que nous avons appelé un **SIRS Soils**, système d'information à référence spatiale sur les sols, du périmètre irrigué de Cébala; périmètre irrigué en eaux usées traitées situé dans la région hydroagricole de la Basse Vallée de la Méjerda en Tunisie.

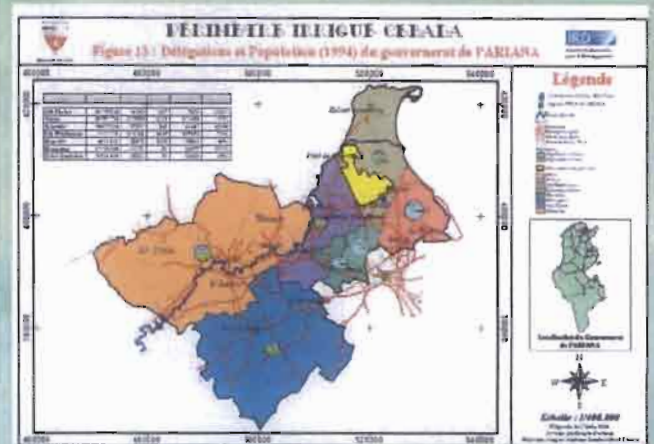
OBJECTIF

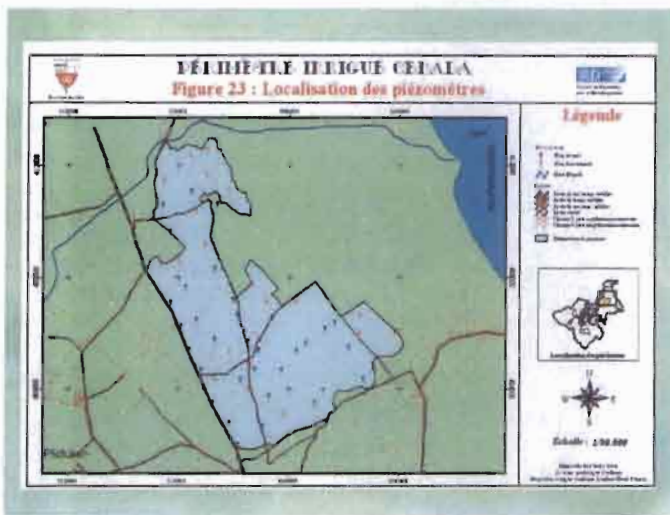
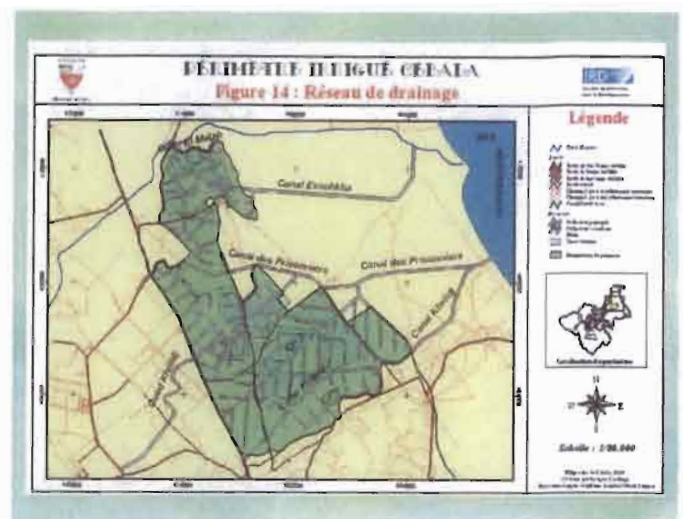
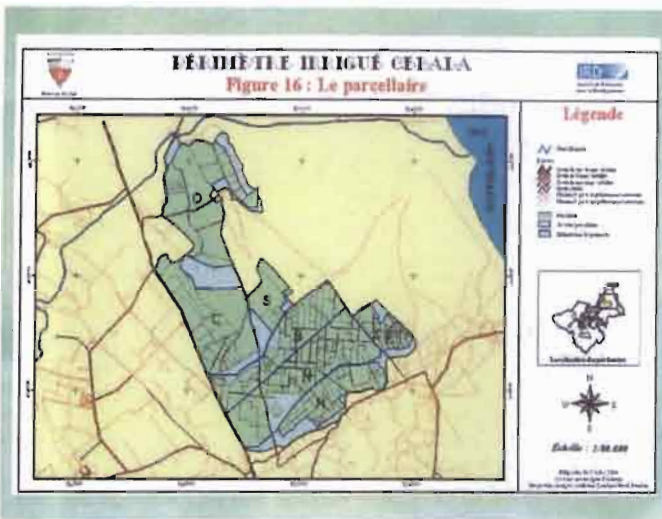
L'objectif était de répondre de manière cohérente au problème de l'utilisation et de la pertinence des données pédologiques (cartes, propriétés physiques) dans la problématique de gestion de l'eau et de l'environnement aux différentes échelles de gestion (parcelles, périmètre, région) via la modélisation agronomique. Pour cela, deux questions fondamentales ont été abordées et traitées, toutes deux dans le contexte théorique de l'approche systémique :

- ✓ La délimitation des unités cartographiques aux différents niveaux de gestion de l'eau et des sols du milieu physique
- ✓ La caractérisation hydro-structurale des unités de sol par rétractométrie

ZONE D'ÉTUDE

Le site d'étude est le périmètre irrigué de Cébala, situé dans le gouvernorat de l'Ariana à 8 km de Tunis la capitale. Il couvre une superficie de 3200 ha en répartis sous forme de petites exploitations (de 20 ha en moyenne) irriguées par les eaux usées traitées provenant des stations d'épurations avoisinantes. Le périmètre est localisé à l'entrée de la Basse Vallée de la Méjerda après le Djebel Amar, la route de Bizerte constituant sa limite ouest sur toute sa longueur, de Cébala Ben Amar à l'embranchement vers Kalaat Landalous (vieux pont de Bizerte).





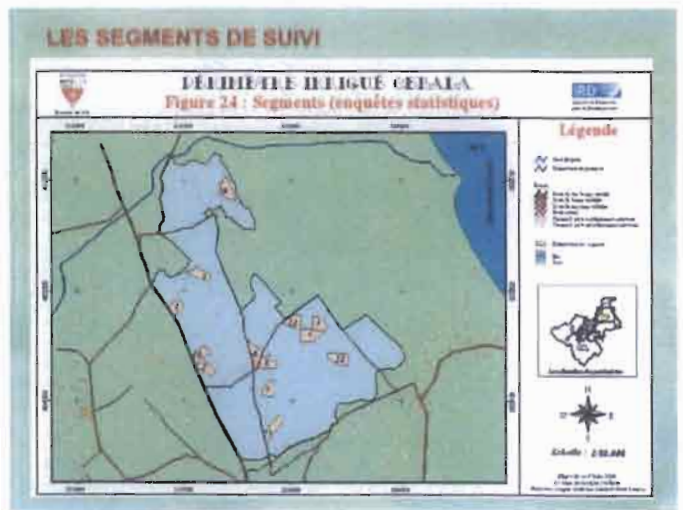
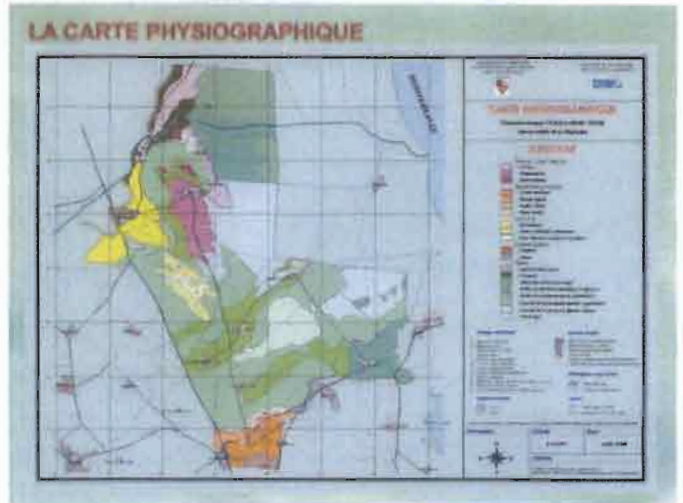
SUIVI

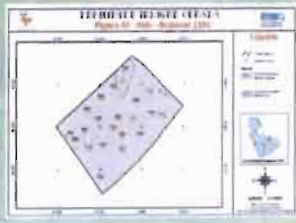
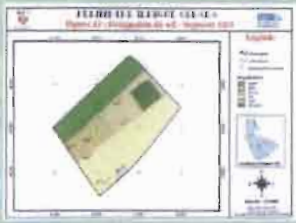
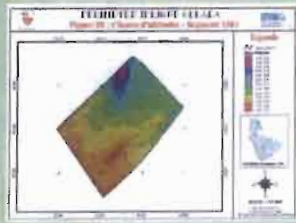
Le suivi statistique de la production du périmètre est assuré par le CRDA de l'Ariana au moyen d'enquêtes effectuées trois fois dans l'année sur des « segments » (surfaces de 20ha environ) choisis au hasard tous les deux ans. Ces segments sont d'habitude définis et délimités tous les deux ans sur une carte topographique au 1/25 000 à l'aide des photos aériennes de 1988 au 1/20000. Ce sont les segments de 1996-1998 (13 segments) qui ont été pris comme référence et plus particulièrement étudiés pour l'établissement du SIRS des sols du périmètre de Cébala

LA CARTE PEDOLOGIQUE

Depuis l'étude pédologique des années soixante de A Mori couvrant la partie est du delta de la Mejerda, entre la route Tunis-Bizerte et la mer, la région a connu une évolution importante de ses sols, essentiellement due aux facteurs suivants :

- Un assainissement régional total : plusieurs canaux ont été installés pour évacuer les eaux excédentaires vers la mer. De ce fait la totalité des zones endoréiques ne sont plus assujetties à un engorgement prolongé pendant la saison des pluies.
- L'oued Mejerda a connu des changements importants dans ses écoulements et le rythme de ses crues a été modifié suite à l'installation du barrage de Sidi Salem. L'oued Mejerda est complètement maîtrisé et canalisé jusqu'à la mer. La plupart des zones basses qui étaient fréquemment inondées ou qui présentaient un niveau de salure très élevé (salinisation par remontée de la nappe salée) sont maintenant récupérées et cultivables sans risque.
- L'aménagement des périmètres de la zone depuis 1988 consistant en un drainage interne des sols par des fossés à ciel ouvert et des drains enterrés en PVC perforés. A Kalaat Landalous les eaux de drainages du périmètre sont récupérées et rejetées à la mer par pompage.





**CARACTÉRISATION
 D'UN SEGMENT (1301)**

THE INRGREF

National Institute of Research in Rural engineering, Water and Forestry



The Agricultural Research

at the Service of Sustainable Development

IngreF in Brief

Main Dates :

- 62 : CRUESI
- 70 : CRGR
- 96 : INRGREF (CRGR+INRF)

Team :

- About 80 researchers + 50 contractual researchers + 50 PhD and Masters students + 80 technicians + 150 workers

Structure :

- 4 Research Lab
- 4 Research Units
- 8 Experimental Stations



INRGREF IN BRIEF – the missions

- Contribution to the development of national research policy in the field of water, forests and rural engineering
- Organization and execution all scientific research in relation to the above mentioned areas
- Participation to the protection, conservation and exploitation of the natural resources and the rural area
- Valorization of the research results and its scientific expertise

INRGREF IN BRIEF – the themes

- WATER
- FOREST
- AGRICULTURAL MACHINERY
- WATER AND SOIL CONSERVATION
- NEW AND RENEWABLES ENERGIES

The themes in the field of soil and water

- Water management and saving
- Brackish/saline Water use in agriculture
- Wastewater and sludge use in agriculture
- Crops water requirement
- Irrigation techniques
- Drainage
- Soil and water conservation
- Agrometeorology

Lab Research

Until 2010: LR GERE –

Gestion des Risques Environnementaux en Agriculture Irriguée

Environmental Risks Management in Irrigated Agriculture

From 2011 to 2014: LR VENCo –

Valorisation des Eaux Non Conventionnelles

Valorization of Unconventional Waters

Programme Eaux Salées

Programme Eaux Usées Traitées et Boues résiduaires

GESTION & ETUDE DES SOLS IRRIGUES TUNISIENS (GEST)

M. Hachicha, Ch. Zidi et H. Hamrouni

Séminaire de formation en pédologie hydrostructurale :
Méthodologies de caractérisation et Modélisation hydrostructurale du sol pour la gestion
des eaux et des sols en agriculture irriguée et/ou de précision
Tunis, 28/11 – 3/12/2011

OBJECTIF

Objectif général :

Améliorer et moderniser la gestion des sols irrigués avec des eaux rares et salées.

Sous objectifs :

- (i) réhabiliter le sol dans les projets nationaux d'économie d'eau en agriculture, la conservation des eaux et des sols et la protection de l'environnement.
- (ii) assoir une plateforme de R&D en sciences du sol.

PROBLEMATIQUE

- En Tunisie comme ailleurs dans plusieurs pays du Monde, on assiste à deux processus qui évoluent en sens inverse :
 - Une augmentation de la pression sur les ressources naturelles en eau et en sol engendrée par l'accroissement démographique et des besoins ;
 - Une diminution de ces ressources et leur raréfaction et dégradation ;
- Dans ce contexte, il existe un besoin pour une gestion durable de ces ressources.
- Cela passe par leur meilleure caractérisation et affectation.

ACTIVITES DU GEST

➤ Trois activités complémentaires:

Composante 1 (GEST Etude) : Etude des sols irrigués

Composante 2 (GEST Gestion) : Gestion des sols argileux irrigués avec les eaux salées

Composante 3 (GEST SIRS) : Système d'Information à Référence Spatiale appliqué au PPI Cebala Borj-Touil

Composante 1 (GEST Etude) : Etude des sols irrigués

Objectif : Améliorer la caractérisation des sols tunisiens et en particulier ceux irrigués.

Problématique : la conception d'une gestion efficace de l'eau repose sur les caractéristiques hydriques des sols. Dans les projets d'irrigation, cette conception s'appuie sur la détermination de la RU du sol, déduite de la mesure au laboratoire sur des éch. de sols perturbés de deux caractéristiques, la CC et le PFP permanent. S'il existe un consensus sur la pression appliquée au sol pour ce dernier paramètre ($pF=4,2$), il ne l'est pas autant pour le premier. Le pF peut aller de 2 à 2,8 en fonction entre autres facteurs, de la texture (1 bar pour les terres argileuses, 1/3 bar pour les terres limoneuses et 1/10 bar pour les terres sableuses).

- L'emploi des mesures du retrait du sol (rétractométrie) permet une modélisation de ce retrait et une meilleure définition des caractéristiques hydriques du sol.
- Nous envisageons de réaliser des mesures sur les principaux types de sols tunisiens sur la base de leur différence texturale et caractéristiques chimiques (calcaire, gypse, fer et MO).
- L'aspect salinité est développé dans la composante 2.
- Les échantillons seront prélevés de l'horizon cultivé. Tous les sols tunisiens irrigués seront concernés sur la base de leur représentativité.

Composante 2 (GEST Gestion) : Gestion des sols argileux irrigués avec les eaux salées

Les sols argileux gonflants posent des problèmes dans leur irrigation surtout sous condition saline. S'ils se dessèchent, ils développent des fissures constituant des voies préférentielles de circulation de l'eau le rendant moins efficace pour les cultures. S'ils s'humectent, ils peuvent asphyxier les cultures. Dans le cas de l'irrigation localisée, on retrouve ces deux situations à quelques dizaines de cm. La gestion optimale de ces sols doit se situer dans une fourchette d'humidité du sol.

- La caractérisation du retrait du sol au laboratoire et in situ et également à différents états de salinité à travers une série d'expérimentation sera une étape préliminaire à une expérimentation sur case de $1\text{ m}^2 \times 0,3\text{ m}$ de hauteur, d'abord sans culture, puis avec une culture estivale irriguée par goutte à goutte avec une eau salée.
- A cet effet, un dispositif de mesure du retrait sera expérimenté.
- A côté du laboratoire, le travail se déroulera dans l'enceinte de l'INRAT dans une première étape, sur un sol très argileux ramené de Bou Hajla (Kairouan).

Composante 3 (GEST SIRS) : SIRS Cebala

Il s'agit de poursuivre le travail entamé et qui a fait l'objet d'une publication de la D/Sols et de l'IRD « SIRS Cebala ».

Cette étude réalisée entre 1998 et 1999 et publiée en 2001 comprend une présentation des principes et concepts de la rétractométrie, une investigation pédologique approfondie et l'ébauche d'une base de données sur l'infrastructure hydraulique et sur les suivis de la salinité des sols et de la profondeur et de la salinité de la nappe de l'année pour l'année 1997.

De ce fait, l'objectif du SIRS à savoir constituer une base de données sur support cartographique actualisée n'a pas été atteint. Nous comptons revoir l'étude, réactualiser son contenu et avoir un produit utilisable par le CRDA de l'Ariana.

Composante 2 (GEST Gestion) : Gestion des sols argileux irrigués avec les eaux salées

Effets de la texture, de la salinité et de la MO sur les propriétés hydriques des sols par analyse de leur retrait

Moyennant la méthode rétractométrique et les mesures pF et en vue d'optimiser l'irrigation avec l'eau salée à l'échelle de la parcelle, on s'est proposé d'étudier en relation avec la texture, les effets sur les caractéristiques hydriques du sol, de :

- la salinité
- la matière organique

MATERIEL & METHODES

On a retenu deux sols de textures différentes provenant de deux régions à vocation agricole en irrigué :

- Région Bou Hajja: sol sableux à sablo-limoneux, représentatif des sols isohumiques (Alfisol) du Centre de la Tunisie ;
- Région Cebala: sol limono-argileux à argilo-limoneux, représentatif des sols peu évolués d'apport alluvial (Xérofluents) du Nord largement répandus dans la Vallée de la Mejerda

Analyses sur les sols: Granulométrie, carbone et calcaire

Effet de la MO sur le retrait du sol et ses caractéristiques hydriques: Les sols ont été enrichis en fumier: 0,5, 1, 2 et 3 g de fumier/100 g de sol (5, 10, 20 et 30 g de fumier/kg de sol).

Effet de la salinité sur le retrait du sol et ses caractéristiques hydriques: Les sols ont été enrichis en NaCl: 0,15, 0,3, 0,45, 0,6, 0,75 et 1 g NaCl/100 g de sol

- Dispositif de mesure du pF:

Ech. de terre soumis à pF=2,8 et pF=4,2.

Pour évaluer l'effet de la salinité: l'eau distillée a été remplacée par des solutions salines: 3; 6; 9; 12; 15 et 20 dS/m, eau distillée étant le témoin.

- Dispositif de mesure du retrait du sol "Retractomètre" :

Mesure du diamètre, hauteur et masse d'une série de 8 éch.

Mesure du retrait du sol 'Retractomètre'

Composantes de l'appareil :

• Passeur d'échantillon : comporte un plateau cylindrique et une colonne de levage. A chaque minute, le plateau s'abaisse et dépose le porte-échantillon sur la balance entre les barrières laser. Toute cette procédure de cheminement est gérée par un ordinateur.

• Unité de mesure : constituée d'une barrière laser permettant à intervalles de temps réguliers de mesurer les diamètres respectifs des éch., d'un spot laser mesurant la hauteur de chaque éch., d'une balance électronique et d'un boîtier de contrôle et d'acquisition des données.

Procédures :

Préparation:

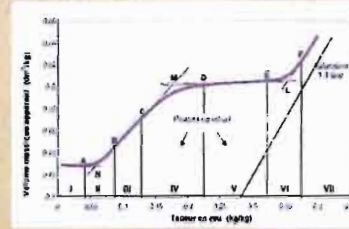
- Les éch. sont saturés par imbibition pendant 24 h dans un bac à sable.
- Sortis du bac, ils sont séchés à l'air libre pendant 24 h puis replacés dans le bac à sable pour les réhumecter durant 24 h.

Mesures:

- les éch. saturés d'eau sont mis sur le plateau du retractomètre.
- Toutes les 8 mn, le plateau tournant dépose un des 8 éch sur la balance.
- L'éch. se trouve alors sous un rayon laser vertical (mesure de la hauteur) et un faisceau laser horizontal (mesure du diamètre).
- Les courbes de retrait, $V = f(W)$, sont calculées et analysées par le logiciel «Tractis» qui détermine les paramètres pédohyriques, c-à-d les coordonnées des points caractéristiques de la CR. "Tractis" modélise la CR et détermine les caractéristiques d'après la méthode «des droites»



Le dispositif de mesure du retrait du sol
«Le retractomètre»



La courbe de retrait et les points caractéristiques de la courbe de retrait

METHODE pF

CARACTERISTIQUES HYDRIQUES

- L'état hydrique des sols a été défini à partir de la mesure de leur potentiel hydrique pF.
- Les caractéristiques hydriques du sol sableux sont très faibles par rapport à celles du sol argileux.

Sols	Argileux_Cebala	Sableux_Bou Hajla
θcc (%)	30,5	3,5
θpfp (%)	22,8	2,4
RU (mm/m)	115,5	16,5

EFFET DE LA MO

- Sol argileux: Faible variation non significative.
- Sol sableux: Augmentation dans les sols enrichis en MO.

Sol Argileux	Enrichissement du sol en fumier (g/100 g)			
	0	1	1,5	3
% MO	1,1	1,3	1,5	1,9
θcc (%)	30,5	30,6	31,2	32,2
θpfp (%)	22,8	22,9	23,2	23,6

Sol Sableux	Enrichissement du sol en fumier (g/100 g)			
	0	1	1,5	3
% MO	0,5	1	1,2	1,3
θcc (%)	3,5	4,1	4,4	5,7
θpfp (%)	2,4	2,6	2,7	4,0

EFFET DE LA SALINITE

- Contrairement à la MO, la salinité abaisse les valeurs des caractéristiques hydriques aussi pour le sol argileux que sableux.

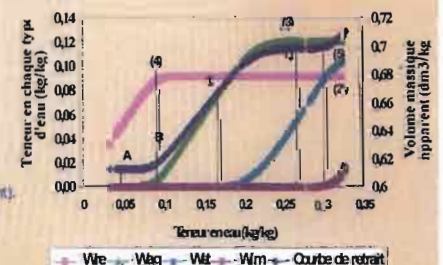
Sol	CEe (d S/m)							
	0,03	3	6	9	12	15	20	
Cebala	θcc (%)	30,4	30,4	30,2	28,7	28,4	26,6	25,3
	θpfp (%)	22,2	22,1	21,9	20,1	19,1	18,9	17,5
Hajla	θcc (%)	3,8	2,2	1,7	1,7	1,6	1,6	1,3
	θpfp (%)	2,4	1,7	1,4	1,1	1,1	0,9	0,7

METHODE RECTRACTOMETRIQUE

CARACTERISTIQUES HYDRIQUES

- Pour le sol Cebala, on obtient une CR
- Les humidités aux points E et D et B sont respectivement équivalentes à la capacité au champ (CC= min (W_D, W_E)) et au point de flétrissement permanent (PFP= W_B)

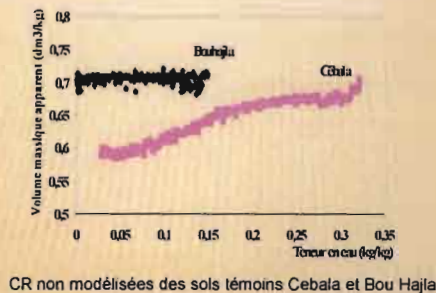
$W_B - \theta_{pfp} = 12,6 \pm 1,4$
 $W_D - \theta_{cc} = 26,8 \pm 1,6$



- 1: Wle: eau interstitielle (gonflement).
- 2: Wlg: eau structurale.
- 3: Wlt (Wts): eau plasmique.
- 4: Wlm: eau résiduelle.
- 5: la courbe de retrait.

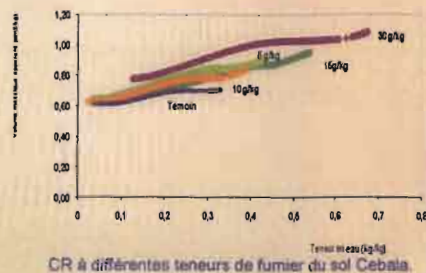
Correspondance entre la CR et les types d'eau dominant pour le sol témoin de Cebala.

- Concernant le sol sableux Bou Hajja, avec un taux d'argille $\leq 9\%$, la méthode ne semble pas être en mesure de décerner les différentes phases du retrait du sol.



EFFET DE LA MO

- L'analyse de la CR du sol Cebala met en évidence l'effet de la MO sur le taux du gonflement du sol.
- Plus la teneur en MO augmente, plus ce taux augmente.



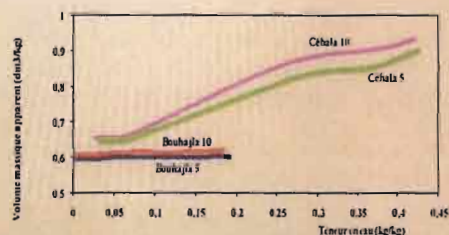
- L'analyse de la CR du sol Cebala met en évidence l'effet de la MO sur le taux du gonflement du sol.
- Plus la teneur en MO augmente, plus ce taux augmente.

Variation du taux de gonflement en fonction de la teneur en fumier.

	Sol enrichi en fumier en (g/Kg)				
	Témoin	5	10	15	20
Taux de gonflement	1,5	1,8	2,5	2,8	3,7
Ecart type	0,2	0,8	0,5	0,5	1,0

ENRICHISSEMENT DU SOL EN FUMIER:

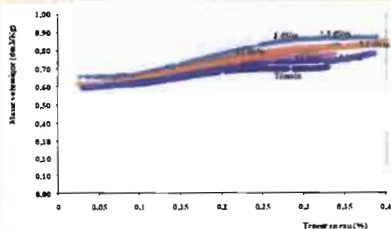
- Sol sableux Bou Hajja: faible retrait du sol.
- Sol argileux Cebala: amplification du retrait.
- Sol sableux / Sol argileux: l'effet de la texture prédomine largement sur l'effet de l'amendement organique.



EFFET DE LA SALINITE

- Pour le sol argileux, différentes CR ont été obtenues.
- Le point d'entrée d'air dans le plasma argileux situé au niveau du point B, reste le même pour un même taux de saturation.
- L'effet de la salinité apparaît lié aux états hydriques des sols. Plus la teneur en eau est faible, plus les CR tendent à se confondre et vis versa.

CR du sol argileux Cebala à différents taux de salinité



METHODE pF Vs METHODE RETRACTO.

- Pour un sol argileux (37% d'argile):
 - Les caractéristiques hydriques déduites de la retractométrie sont assez similaires à celles mesurées par pF.
 - La teneur en MO et la salinité affectent les caractéristiques hydriques.
 - L'apport de fumier pour ces sols se concrétise par un déplacement des caractéristiques hydriques vers la hausse sans que cela affecte la RU.
 - L'effet des sels sur le comportement hydrique du sol est manifeste mais secondaire par rapport à celui de la texture.
 - L'élévation de la salinité du sol se traduit par un déplacement vers la baisse des caractéristiques hydriques sans que cela s'observe sur la RU.
- Pour un sol sableux (<9%):
 - La méthode retractométrique n'a pas permis de résultats concluants

Gestion optimisée de l'eau salée à la parcelle en sol argileux

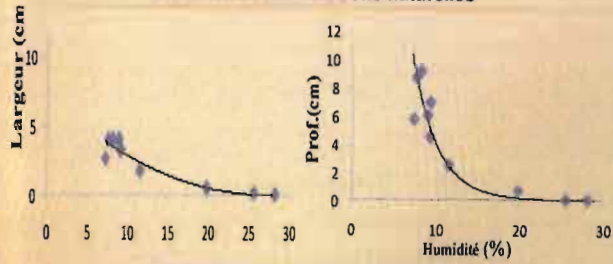
ANALYSE DU RETRAIT & GONFLEMENT D'UN SOL ARGILEUX

- Le comportement des sols argileux vis-à-vis de l'eau et des sels est analysé :

- approche morphologique de terrain : suivi sous condition naturelle des fentes de retrait dans la parcelle (placettes de 1 m²).
- approche expérimentale de laboratoire : par des mesures sous conditions contrôlées de l'extensibilité linéaire de boudins de sols et la détermination du coefficient d'extensibilité linéaire (COLE) et du retrait sous conditions salines



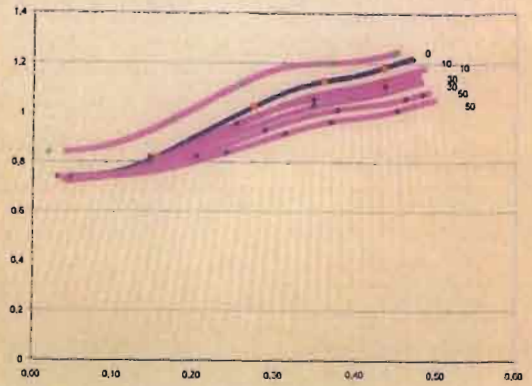
Evolution sous conditions naturelles



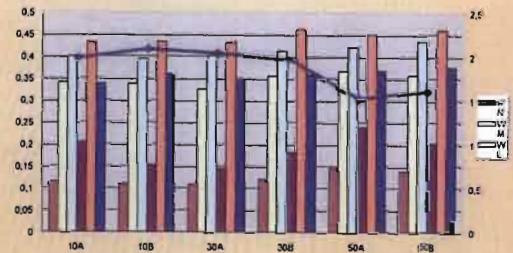
Evolution de la largeur (L) et de la profondeur (P) de fentes de retrait en fonction de l'humidité du sol

➤ On observe une relation entre l'état hydrique du sol et la largeur et la profondeur des fentes de retrait.

Caractérisation du retrait sous conditions salines par rétractométrie

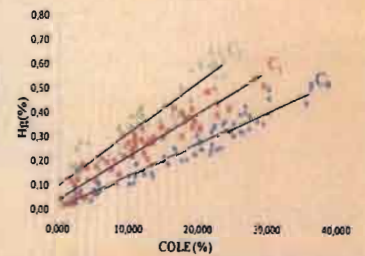


Taux de gonflement



Caractérisation du retrait sous conditions salines par COLE

Le sol désalinisé, saturé par l'eau d'irrigation ($CEi = 5,1 \text{ dS/m}$; $SAR = 11$), puis deux autres solutions provenant de la concentration de l'eau d'irrigation (2 fois puis 3 fois).



Corrélation entre la H_g et $COLE$ de l'eau de saturation, en fonction de la salinité

Plus la salinité du sol est élevée, plus son retrait est réduit.

GESTION DE L'IRRIGATION LOCALISEE

Objectif

Instrument simple à utiliser par l'agriculteur pour optimiser l'irrigation localisée à l'échelle de la parcelle pour des sols gonflants.

Principe

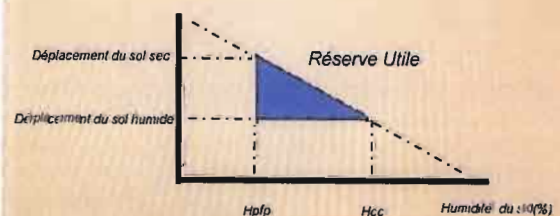
Détection des mouvements horizontaux du sol argileux gonflant.

Méthode

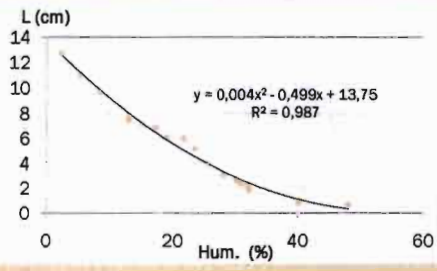
Étalonnage du mouvement linéaire horizontal du sol en fonction de ses humidités caractéristiques.



Déplacement linéaire



Mesure du déplacement linéaire



APPROCHES COMPLEMENTAIRES

Earth Observation

Marc LOINTIER

UNITE BIOEMCO
IRD Paris
marc.lointier@ird.fr

SEMINAIRE de formation en
pédologie hydrostructurale

IRD

GLOBAL ISSUE

Water management is an important issue today and for the futur. Each project on global scale or local scale using new technology (as EO) will increase our abilities to contribute to this management.

Water on earth :

- * 97,5 % ocean water
- * 2,24% of fresh water (store in polar areas)
- * 0,26% accessible fresh water

Available water : 42 600 km³ of mean runoff per year.

But not accessible all the year ! : only 37% of total runoff can be used = 15 800 km³/year, continuously.

The total water consumption in the world was 3800 km³ in 1995 and specialists foresee 5200 km³ in 2025, the third part of available water resource !

Seminaire pedologie
hydrostructurale 2011

IRD

USE OF EARTH OBSERVATION DATA

Sensors

Seminaire pedologie
hydrostructurale 2011

IRD

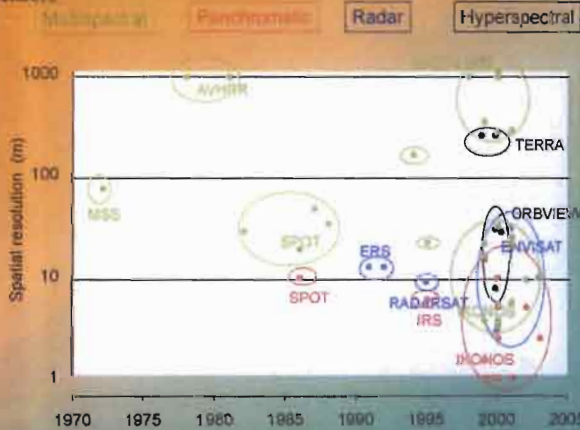
Earth Observation: measurements' principles

OPTICAL	THERMAL IR	ACTIVE microwaves	PASSIVES microwaves
Visible, NIR, MIR			
$\lambda = 0,5-2 \mu\text{m}$	$\lambda = 10-12 \mu\text{m}$	$\lambda = 1,2 \text{ à } 50 \text{ cm}$	
Res = 1 km to 1 m	5 km to 100m	200 m to 25 m	50 to 10 km
Ex. Satellite : SPOT, LANDSAT, NOAA, SEAWIFS	LANDSAT, NOAA	ERS1, PALSAR, JERS1, RADARSAT	ERS1, SSM/I

Seminaire pedologie
hydrostructurale 2011

IRD

Sensors



Seminaire pedologie
hydrostructurale 2011

IRD

OPTICAL and THERMAL IR



nb : thermal % emissivity !

Seminaire pedologie
hydrostructurale 2011

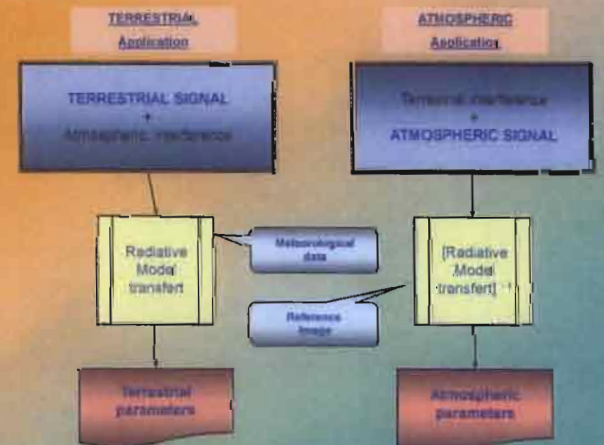
IRD

Atmospheric « windows »



Seminaire pedologie
hydrostructurale 2011

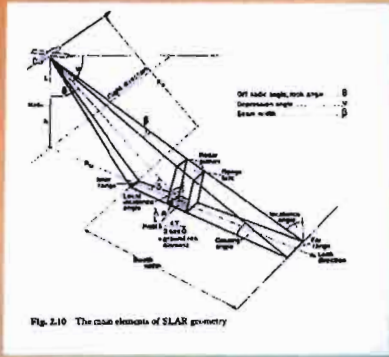
IRD



Seminaire pedologie
hydrostructurale 2011

IRD

RADAR SAR (no clouds effects)



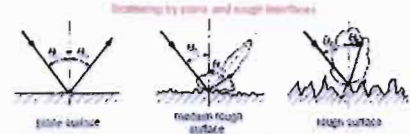
- Parameters :
- Frequency (band P, L, C, X...)
 - Polarization HH, HV...
 - Elevation angle θ

Fig. 2.10 The main elements of SAR geometry

Backscatter

Controls on Microwave Signal over Land

- Emission and reflectivity of land surfaces is affected by
 - soil properties
 - dielectric constant (soil moisture, frost)
 - surface roughness
 - vegetation characteristics
 - vegetation structure
 - dielectric properties of stem, leaves, etc.



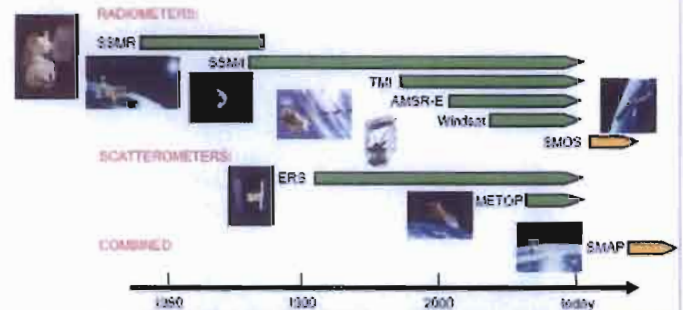
Exemple of Radarsat measurements



10 possibilities !

Platforme / Mission	Resolution spatiale (mètres)	Largeur de balayage (km)	Angle d'incidence (°)	Précipitation
Radarsat / SAR	10-30	100	20-60	Single Polarisation
ERS-2 / SAR	30	100	20-60	Single Polarisation
ERS-2 / HRV	30	100	20-60	HRV
ERS-2 / WV	300	100	20-60	Wind
ERS-2 / ASAR	300	100	20-60	ASAR
ERS-2 / SAR	300	100	20-60	ASAR
ERS-2 / SAR	300	100	20-60	ASAR
ERS-2 / SAR	300	100	20-60	ASAR
ERS-2 / SAR	300	100	20-60	ASAR
ERS-2 / SAR	300	100	20-60	ASAR

Microwave Sensors



APPLICATIONS

For each problem we must invent new methodology combining :

- 1 Ground truth (versus pixels...)
- 2 Expertise (in hydrology & pedology...)
- 3 Chose the best satellite measurement (tests with 1&2)
- 4 Calibration methods (2&3)
- 5 modelisation

There is Rarely generic solutions !

Use of Earth Observation : 2 ways

REVIEW BY TOPICS:

- Precipitations
- Evapotranspiration
- Soil Moisture
- Snow and ice
- water quality
- hydrogeology
- Land use and physiography of the watershed and DEM
- Water Management :
 - irrigation
 - flood forecasting
 - non measured watersheds
 - environmental changes of watershed

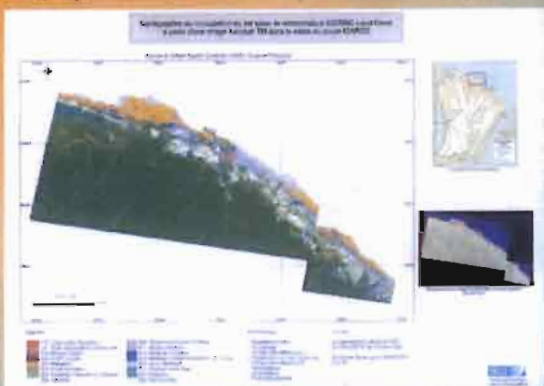
SEARCH OF SPALIALIZED INDICATORS

OPEN :

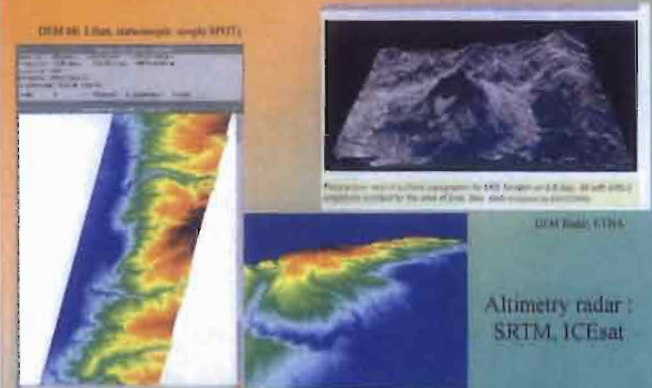
Specific cartography, signal calibration...

Optical sensors cartography

Ex : specific Land Use of a tropical coastal plain (Landsat TM)



DEM (Digital elevation models)





Estimation des zones inondables par calcul sur MNT

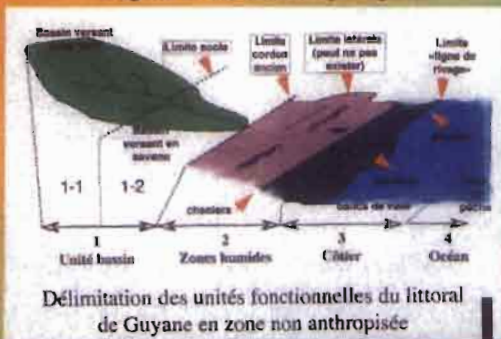
Unusual case !



Figure 4. Manaus, Amazonas, Brazil. In the multi-temporal ERS SAR image, microwave forest disturbance is revealed by magenta spots due to disturbed cells in backscatter. Occurrence of forest fires shows the Amazon backscatter from a fire event forest caused by the same disturbances on 11 December 1992. Circle 6351, frame 3093, 24 July 1992; circle 7355, frame 3953, 11 December 1992; circle 4349, frame 3093, 15 May 1992. Data acquisition: Cuatrecasas, Brazil.

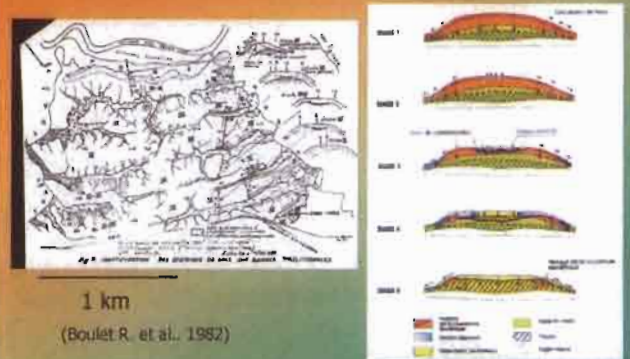
Cartography with SAR (radar) in French Guiana

Diagram of the coastal hydrosystem



Délimitation des unités fonctionnelles du littoral de Guyane en zone non anthropisée

Ground truth and pedological interpretation



(Boulet R. et al., 1982)

Analyze of satellite information

Optic

Radar



Panchromatic SPOT
Resolution 10 m



JERS1 (Band L)
Resolution 25 m

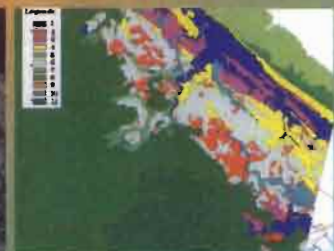
Interpretation and cartography

Radar interpretation

Hydrologic cartography



radar JERS1
Water circulation



synthesis of temporal
hydrological functioning

Review by topics

- Water Quality
- LAI
- Soil Moisture
- Evapotranspiration

1- Water quality:

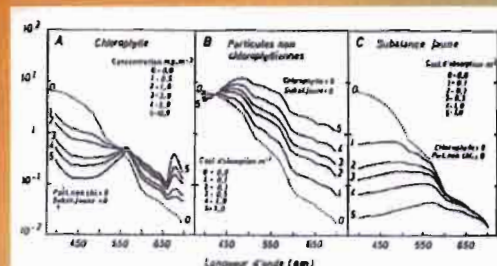
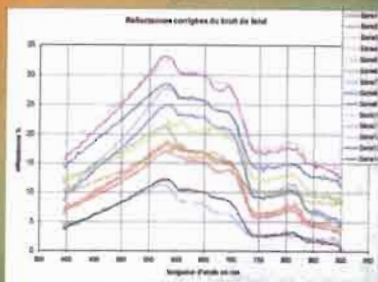


Fig 2-6 : Simulation à différentes concentrations de la réflectance de l'eau de mer en fonction de la longueur d'onde.
A- chlorophylle (phytoplankton)
B- particules non chlorophylliennes
C- substance jaune
La réflectance simulée en milieu naturel dépend d'un mélange de ces trois éléments.
(Drapeau Guyen, 1989).

CASI : Airborne Hyperspectral (256 bands)



Diagnosis and monitoring of water anoxia



Sensor **MerIS**, high temporal res. (3 days) & medium spectral res. (15 bands), pix 300m

THAU pond (France)

2 - LAI (Leaf Area Index)

Penman-Monteith (1965)

$$E_a = \frac{E_p}{\left(1 + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma}\right) \cdot \left(\frac{r_{st}}{LAI \cdot r_a}\right)\right)}$$

E_a - évapotranspiration réelle, en mm jour⁻¹;
 E_p - évapotranspiration potentielle, en mm jour⁻¹;
 r_{st} - résistance stomatique d'une feuille, en s cm⁻¹;
 LAI - indice foliaire du couvert, sans unité;
 r_a - résistance aérodynamique du couvert, en s cm⁻¹

BUT the modelisation of canopy is complex :

Need a modelisation of BRDF* (Bidirectional Reflectance Distribution Fonction)

For the moment by satellite :

- Empiric relationships between NDVI and LAI with optical sensors (NDVI=(NIR-VIS)/(NIR+VIS))
- Radar : direct relationships with backscatter
- LIDAR : promising solutions link with a 3D radiative transfert model

*The BRDF is the "Bidirectional Reflectance Distribution Fonction", it gives the reflectance of a target as a function of illumination geometry and viewing geometry. The BRDF depends on wavelength and is determined by the structural and optical properties of the surface, such as surface coating, multiple scattering, thermal shadowing, transmission, reflection, absorption and emission by surface elements. Exact numerical distribution and band density.

LIDAR

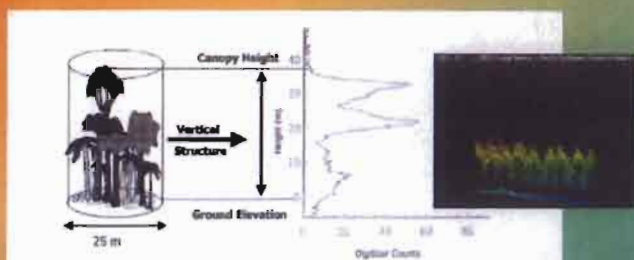


Figure 2: Principle of full waveform recording lidar (from Drake *et al.* (2002))

3-SOIL Moisture :

Relevance of Soil Moisture in Hydrology

- Hydrologists are primarily interested in runoff and water budgets

$$R(\theta) = P - ET(\theta) - \Delta\theta$$

θ ... Soil moisture
 $\Delta\theta$.. Change in θ
 P ... Precipitation
 R ... Runoff
 ET ... Evapotranspiration

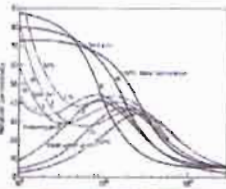


Approaches to Remote Sensing of Soil Moisture

- Measurement principles
 - No direct measurement of θ possible, only indirect techniques
 - Optical to Mid-Infrared (0.4 - 3 μm)
 - Change of "colour"
 - Water absorption bands at 1.4, 1.9 and 2.7 μm
 - Thermal Infrared (7-15 μm)
 - Indirect assessment of soil moisture through its effect on the surface energy balance (temperature, thermal inertia, etc.)
 - Microwaves (1 mm - 1 m)
 - Change of dielectric properties

Microwaves

- **Microwaves (1 mm – 1 m wavelength)**
 - All-weather, day-round measurement capability
 - Very sensitive to soil water content below relaxation frequency of water (< 10 GHz)
 - Penetrate vegetation and soil to some extent
 - Penetration depth increases with wavelength



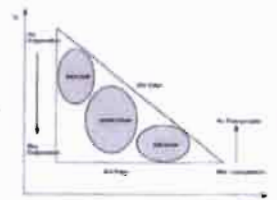
Dielectric constant of water

The dipole moment of water molecules causes 'orientational polarisation', i.e. a high dielectric constant



Thermal Infrared

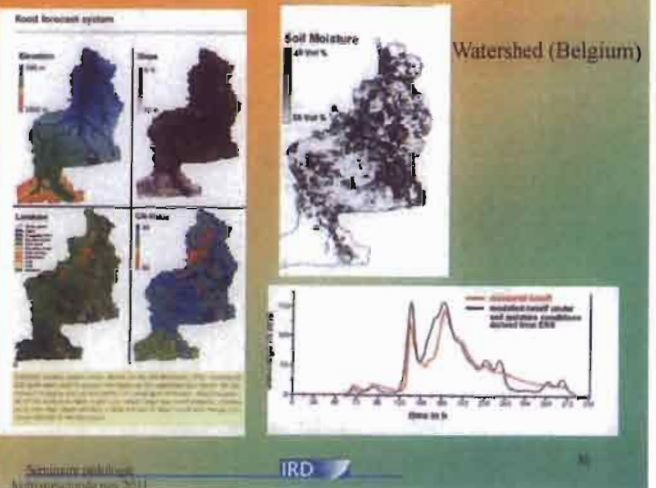
- Exploit the impact of θ upon T_s and change of T_s (thermal inertia)
- Other influences
 - Vegetation
 - Wind speed
 - Soil properties
 - Air humidity
 - etc.
- Methods range from
 - Simple indices
 - Assimilation with SVAT-models



Soil moisture characterisation by surface temperature/vegetation index diagrams. From Sandhu et al. (2002).

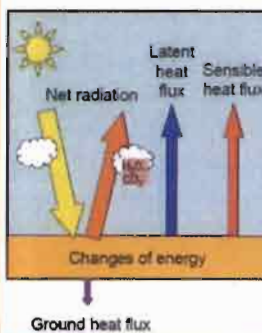
Observed Quantities

- **Radars**
 - Backscattering coefficient σ^0 , a measure of the reflectivity of the Earth Surface
- **Radiometers**
 - Brightness temperature $T_B = e \times T_s$ where e is the emissivity and T_s is the surface temperature
- **Passive and active methods are interrelated through Kirchoff's law:**
 - $e = 1 - r$ where r is the reflectivity
 - Increase in soil moisture content
 - backscatter \uparrow
 - emissivity \downarrow

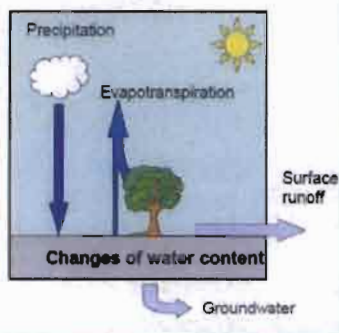


4-Evapotranspiration :

Land energy balance



Land water balance



Physically based methods

$$R_n = LE + H + G$$

R_n = net radiation energy shared between G and atmospheric convective fluxes (H & LE)

H = sensible heat flux on the top of surface

G = soil heat flux

LE = latent energy exchanges (L , latent heat flux of water, E evaporation vapor flux)

R_n depends on solar radiation (R_g), incident atmospheric radiation (R_a), surface albedo (α_s), surface emissivity (ϵ_s), and surface temp. (T_s)

In recent years, many models/algorithms for monitoring evapotranspiration using remotely sensed data have been developed and evaluated with a few selected datasets, mostly in Europe and North America.

“Simplified Method” (Jackson *et al.*, (1977), Seguin and Itier (1983), Nieuwenhuis *et al.*, (1985) and Carlson and Baffum (1989), and Carlson *et al.*, 1995),

“Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)”, (Bastiaanssen *et al.*, 1994),

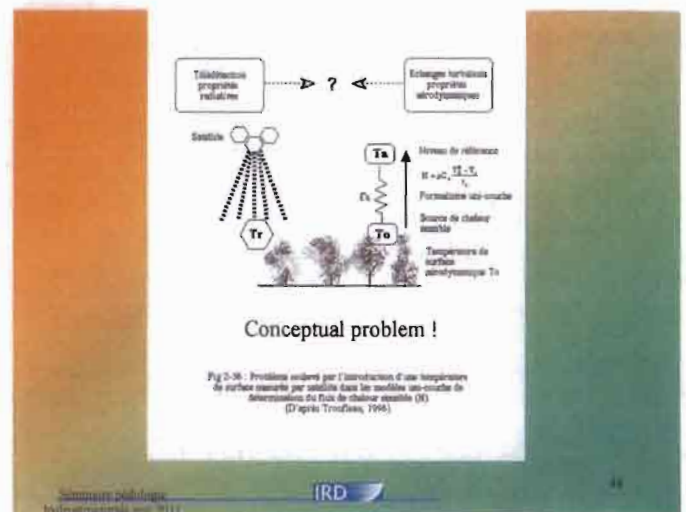
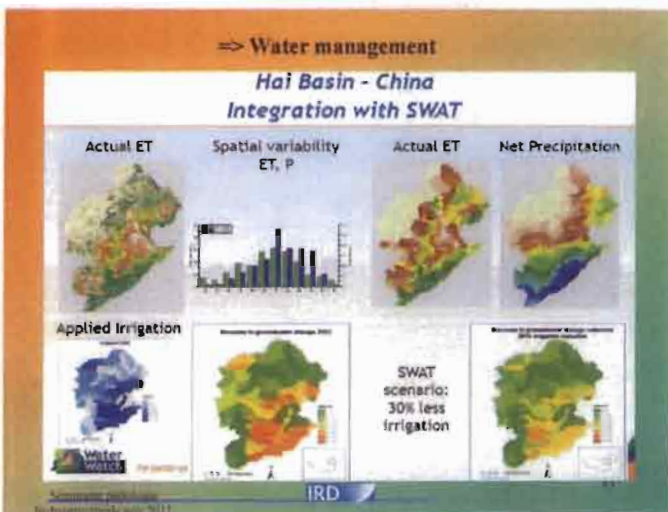
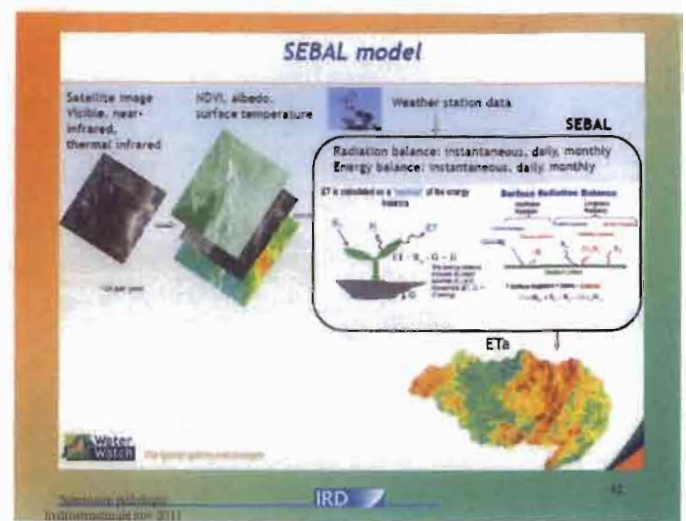
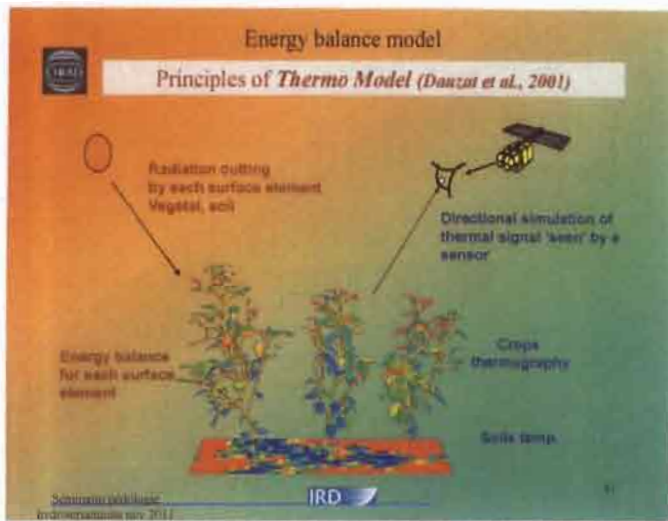
“One Layer Resistance Model” (Zhang *et al.*, 1995)

“Atmosphere Land Exchange Inversion (ALEXI) model (Mecikalski *et al.*, 1999).

Main biophysical variables derived from EO

Table 3. Main biophysical variables derived from remote sensing data classified according to wavelength ranges and models. Foact: crop model simulating the vegetation development (from Baret, INRA Aignon, personal communication)

Biophysical variables	solar	IRT	Active (waves)	Passive (waves)	Process models
Albedo	++				SVAT
Vegetation cover	++	+			SVAT
FAPAR	++				Foact
LAI	++	+	+		SVAT&Foact
Water content in vvg			++	++	Foact
Temperature		++		+	SVAT&Foact
Chlorophyll	++				Foact
Leaf water content	++				Foact
Soil water content	++		++	++	SVAT&Foact
Soil roughness	++		++	++	SVAT
Vegetation height (roughness)	++	+	+		SVAT&Foact



CONCLUSIONS :

- RS technologies have been « push » for 30 years, by military applications. Few scientists have been involved in building sensors dedicated to a thematic application and civil uses.
- Satellite « products » are generally built around commercial applications : they are not adapted to scientific questioning (beware of « push button » solution software...)
- Hydropedologic parameters are not accessible directly by RS (the only physical parameter directly measured is water or sea temperature, SST)
- We need an integrated approach to « map » the properties of soils (structure and chemical characteristics) with RS data

Schumann Pédologie, In: Géomatériaux, 2011

RS technologies produce data (optical and radar), it is not a TOOL:

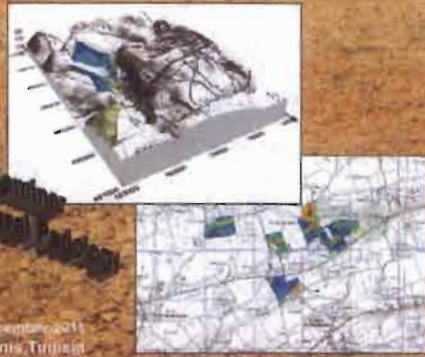
For each problem, scientists must invent an appropriate methodology :

- Expertise on RS : kind of information (temporal, spatial, spectral resolution) & possible atmospheric disturbances
- Spatialized ground truth versus these data (how to sample for spatialized data and use geostatistic tools)
- local and integrated solutions realistic (with strong empirics relationships, or modelling)

Schumann Pédologie, In: Géomatériaux, 2011



Near-surface geophysics applied to soil mapping



28 November - 3 December 2011
Tunis, Tunisia

MONTORO Jean-Pierre IRD

Outline

- . Soil information
- . Applied near-surface geophysics
- . Soil Electrical Resistivity
- . Near-surface geophysics instrumentation
- . Studied field cases
- . Geophysics-remote sensing comparison

Soil Information

Soil Information (SI)

Why we have to know better the soils?

"Soil and plants are the basics of our agriculture and of our plant production. Since the end of the 20th century, especially for southern countries, fears have appeared related not only to water restrictions but also to soil availability.

For northern countries, agriculture has used a very high level of fertilizers not related to soil potentiality."

"Today leading trends strives towards better landforms management taking more into account the soil protection and its functioning, particularly in terms of biology.

Example: bio-ecology in the South, organic farming in Europe and "Agriculture Raisonnée" in France."

(from Michel Robert, MEDD, 2002)

Soil Information (SI)

Soil Information (SI)

Localized SI

Randomized (Soil area) / Distributed SI (Soil profile)

Direct SI (Field characterization)

Qualitative Data (Field observations)

Assessed properties *On-site diagnosis*

Quantitative Data (Time measurements)

Dynamic properties *On-site processes*

Undirect SI (Laboratory characterization)

Disturbed Soil Sampling (Specific analyses)

Normalized properties *Off-site diagnosis*

Undisturbed Soil Sampling (Time measurements)

Dynamic properties *Off-site processes*

Spatialized SI in space and time

On a given area and time period (scale)

Classical soil mapping (hand-made)

Remote sensing mapping (automatic)

Applied Near-surface Geophysics

What is Applied Near-surface Geophysics?

Applied Geophysics is a discipline that involves making physical measurements above, on the surface, or within the Earth, then applying mathematical and graphical tools to create information about the subsurface physical properties and/or structures. It also attempts to deduce the nature and distribution of the constituents.

Near-surface applied geophysics is dedicated to soil and subsoil.

More and more used in Soil Science since last 25 years

Advantages:

Near-surface measurements, non-invasive and rapid recording, repeatable and reproducible data, high resolution in time and space...



Assistance in Soil Science:

Mapping, 2D or 3D structural organization, functioning...

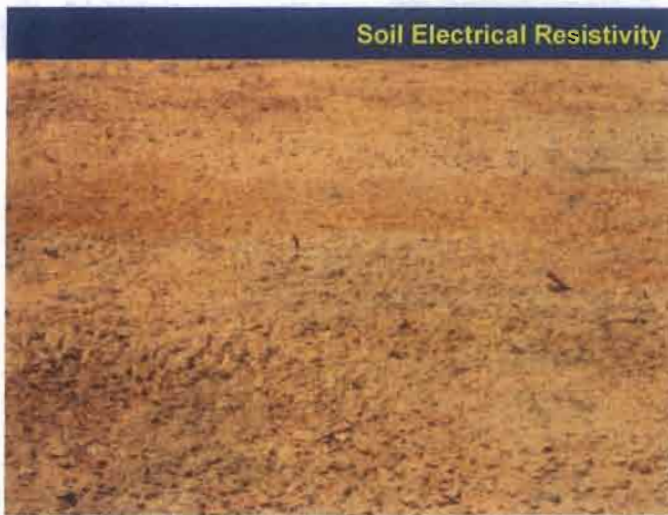
Geophysical methods and physical properties of soil and subsoil

Physical properties	Geophysical methods					
	Magnetism	Gravimetry	Electromagnetism	Electrical	Radar	Seismic
Magnetic susceptibility	P		S		S	
Density		P				S
Electrical resistivity			P	P	S	
Permittivity Dielectric			S		P	
Wave velocity						P

P = Primary
S = Secondary

Fields of Application

Crop growers Vegetable growers Fruits	Modulation of input within each plot - Density of seeds - Nitrogen (N) - P, K, MgO, CaO - Fungicides, regulators, herbicides Irrigation, drainage Soil-induced diseases
Viticulture	Soil mapping, Terrain characterization Precision Viticulture Adaptation of wine-stocks to the soil Soil-induced diseases
Water management Watersheds	Protection of watersheds Leaching and water spreading Irrigation, drainage Estimation of potential risk of plots
Land and town planning	Remediation sewage, roads, etc.
Polluted sites and land remediation	Mapping of soils, leakage ...



Definition of the Electrical Resistivity

The electrical resistivity ρ of a medium is a physical parameter that determines the ability of the medium to limit the flow of electric current. This ability is closely related to its intrinsic characteristics.

The resistivity is the ohmic resistance of a cylinder having a unit length and unit section as $R = \rho \times L / S$

$$\rho = 1/\sigma$$

ρ ($\Omega \cdot m$) Electrical Resistivity (ER)
 σ (mS/m) Electrical Conductivity (EC)

Electrical conduction of the current in soil

- **Electronic ou métallique conduction** (movement of electrons)
 - Some sulfides (pyrite, galena)
 - Some oxides (magnetite, hematite)
 - Graphite, gold, silver, platinum.
- **Electrolytic conduction** (movement of ions)
 - ✓ Quality of the electrolyte (ρ_w), amount of dissolved salts
 - ✓ Amount of electrolytes in the unit volume of soil
 - ✓ Distribution mode of the electrolyte
- **Dielectric conduction** (displacement current under the influence of electric field of very high frequency)

Electrolytic conduction: quality of the electrolyte

Salinity



Movement of ions

- ✓ μ = viscosité de l'eau
- ✓ v = vitesse limite = mobilité des ions

Ion mobility is μ

H ⁺	$v = 36,2 \cdot 10^{-8}$ m/s
OH ⁻	20,5
SO ₄ ²⁻	8,3
Na ⁺	5,2
Cl ⁻	7,9

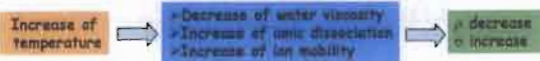
Conductivity of an electrolyte depends on the ion content, ion mobility, degree of ionic dissociation

$$\rho_w = f(c_1 v_1 + c_2 v_2 + c_3 v_3 + \dots + c_n v_n)$$

with c_i : ion1 concentration
and v_i : ion1 mobility

Water with the same mass concentration of dissolved salts will have a different electrical resistivity, depending on the ions in presence

Electrolytic conduction: temperature effect



Electrolytic conduction: effect of the electrolyte amount

The water content depends on the porosity Φ of the soil or rock

- Total porosity $\Phi_t = V_v / V_{soil}$
- Efficient porosity $\Phi_e = V_{connecting\ pores} / V_{soil}$
 $\Phi_e \ll \Phi_t$ (ex pumice)
- Soil porosity \neq sustainable property
(depends on cultural practices, compaction, biological activity, climate...)

Parameters affecting the soil ER

Soil electrical resistivity depends on:

- Perennial variables (PV) driven by soil components
 - Texture (clay content)
 - Stoniness
 - Geological substrate
 - Depth of geological substrate occurrence
- State variables (ST) unsustainable over time
 - Water content
 - Porosity
 - Ionic concentration
 - Temperature

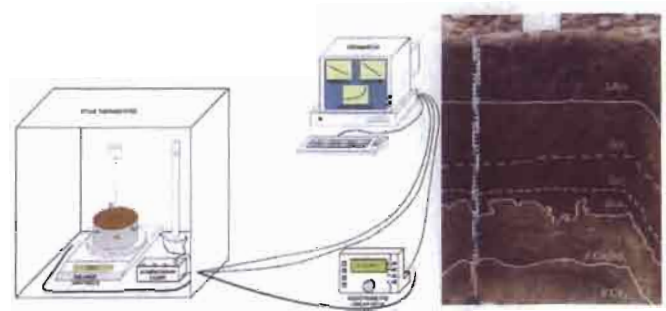
ρ_a mapping \Rightarrow Spatial distribution of intrinsic characteristics

$\rho_a = f(ST)$ monitoring of time variations \Rightarrow Soil functioning
Ex: water dynamics

Resistivity of different rocks and waters

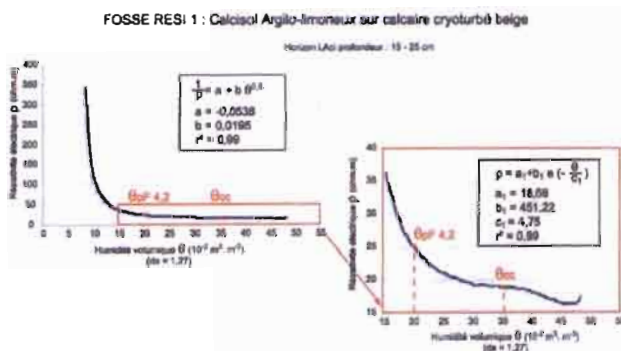
Rocks and Waters	Resistivity (Ω.m)	Rocks	Resistivity (Ω.m)
Seawater at 18-20°C	0.25	Volcanic tuff	20-300
Fresh water	5-100	Sandstone	150-2,000
Clay	5-20	Dolomite	200-10,000
Mari	15-40	Schist	300-800
Marly limestone	50-100	Gneiss	1,000-10,000
Chalk	30-300	Granite	1,000-15,000
Limestone	150-1,500	Basalt	800-15,000

Influence of moisture on soil electrical resistivity

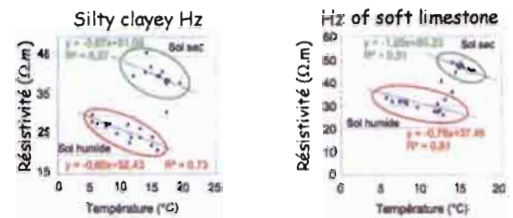


Laboratory measurement

Influence of moisture on soil electrical resistivity



Influence of temperature on soil electrical resistivity



Modelling the temperature effect

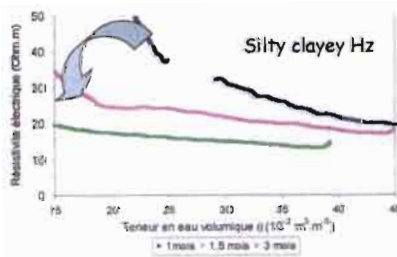
In general, the law of 2% growth compared to $\sigma_{25^\circ\text{C}}$ (Campbell et al, 1948)

$$\sigma_T = \sigma_{25^\circ\text{C}} [1 + \alpha(T - 25^\circ\text{C})]$$

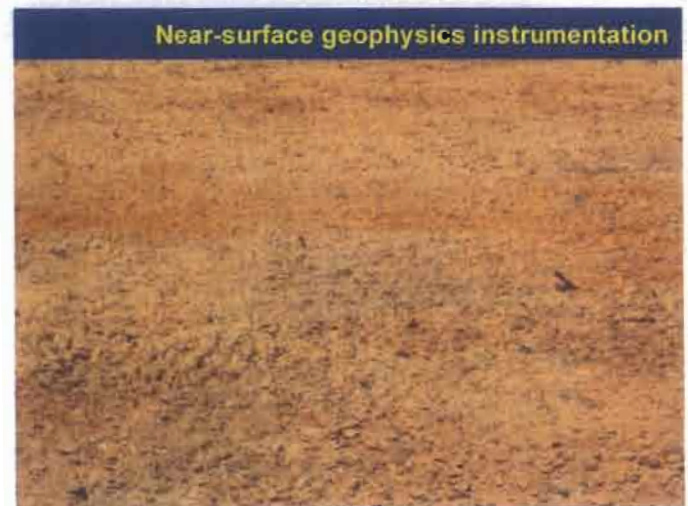
with $\alpha = 0.02$

Influence of water concentration on soil electrical resistivity

Increase of the soil solution concentration? Mineralization of the soil solution. Effect should not be overlooked.



Water saturation time



Available technologies and sensors

	Aerial/Satellite	GPR/AMT...	ER	EM	Mag
Suppliers	SPOT Image, EADS, NASA, Etc...	Sensors and Software, GSSI, Mala geosc., etc...	Geoscarla, Geoscan, Abem, Iris, Campus, Agi, etc...	Geonics, Geophax, Gf, DualEM, etc...	Broughton, Geometrics, Scintrex, Geoscan, Foerster, EDA, etc...
Accuracy	☹☹	☺☺☺	☺☺☺	☹	☺☺☺
Cost	☺☺☺	☹☹	☺+?	☺☺	☺

Major geophysical methods in Soil Science

Electromagnetic method Frequency domain (EM, Slingram)	Electrical method Direct current (ER)
<ul style="list-style-type: none"> Electromagnetic sounding (1D) Electromagnetic profiling (2D) Apparent resistivity mapping 	<ul style="list-style-type: none"> Electrical Sounding (VES, 1D) Electrical cross-section (ERT, 2D or 3D) Electrical profiling Apparent resistivity mapping
Instruments: Electromagnetic conductivitymeter EM38, EM31, EM34	Instruments: Resistivitymeter+ four-electrode array Multi-electrodes system MuCEP or ARP

EM instrumentation

EM38 conductivimeter (Geonics)



Exploration depth: 0.75 - 1 m
 F = 14,6 kHz
 S = 1 m



EM instrumentation

EM31 conductivimeter (Geonics)



Exploration depth : 4 - 5 m
 F = 9,8 kHz
 S = 3,66m

EM instrumentation

EM34 conductivimeter (Geonics)

Exploration depth: 10, 20 and 40 m
 F = 6,4 kHz with S = 10 m
 F = 1,6 kHz with S = 20 m
 F = 0,4 kHz with S = 40 m



ER instrumentation

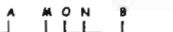


Electrical cross-section (ER Tomography, 2D) in Laonnois (Northern France)

ER and EC profiling and mapping

ER profiling

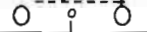
Moving direction



A et B : DC injection electrodes
 M et N : Voltage measurement electrode
 O : measurement centre

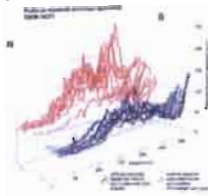
EM profiling

Emitter coil Receiver coil

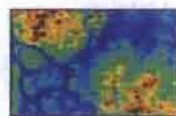


O : measurement centre

ρ_a profile

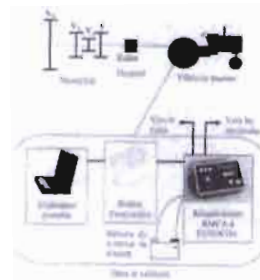


ρ_a map



ER instrumentation

MuCEP prototype (MultiContinuous Electrical Profiling)



ER instrumentation

ARP systems (from MuCEP prototype)



Why a need of high speed spatial mapping of soils?

Objectives in Agriculture / Environment

- 1- Optimum positioning of sampling points for chemical analysis
- 2- Definition of within-field variability: Homogeneous Zones
- 3- Gain of precision and time for scientists in soil mapping
- 4- Affordable maps at a scale of 1/2.500 for farmers
- 5- Managing fertilizers and seeds with these maps
 => Lower inputs (N), higher yields, better protein management.

Means

Mapping of one or several physical parameters (ER, EC) linked to texture, structure, clay, H₂O, depth, CEC, pH, OM...

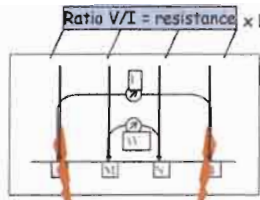
Methods

"Manual" soil mapping - Remote sensing -ER /EC - Yield mapping

... If: cost ↓, economically profitable to farmers, compatible accuracy with machines and ... available agronomical models,

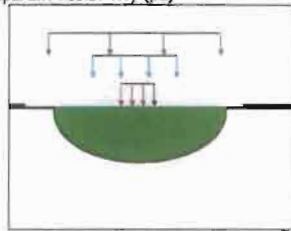
**Electrical surveying (ie galvanic or DC surveying):
measurement of the soil apparent electrical resistivity**

Resistivity measurement using a four-electrode array (Wenner)



K = geometric factor depending on electrode array

Extension to several exploration depths



**Hand-made measurements
RM15 (Geoscan Research)**

✓ Instrument : resistivimeter with a multiplexer



- ✓ Investigation depth: 0.5, 1 and 2 m
- ✓ Operating procedure: acquisition point by point
- ✓ Production rate: 0.3 ha/day (mesh = 0.5 x 0.5 m), 2 persons

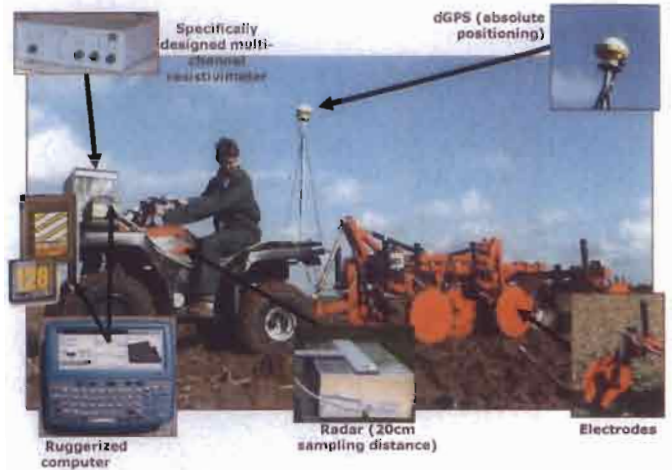
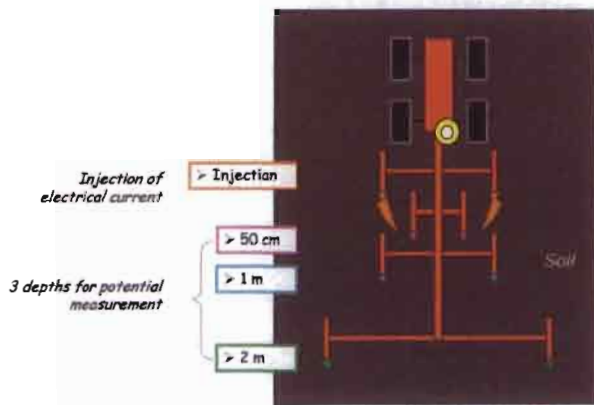
**Towed arrays
(ARP® system)**

✓ Quad, ATV, + rugged computer + dGPS + radar + specific resistivimeter



- ✓ Investigation depth: 0.5, 1 and 2 m
- ✓ Operating procedure: continuously
- ✓ Production rate: min 4 ha/day, 1 person

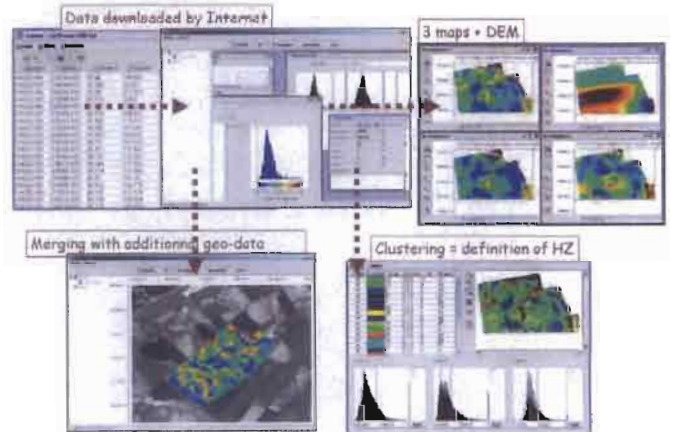
ARP® = Automatic ER Profiling



Development



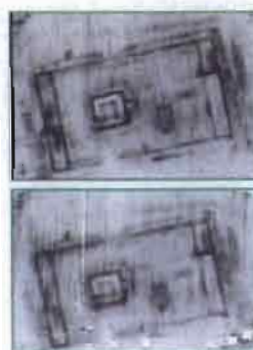
Data processing



Studied field cases



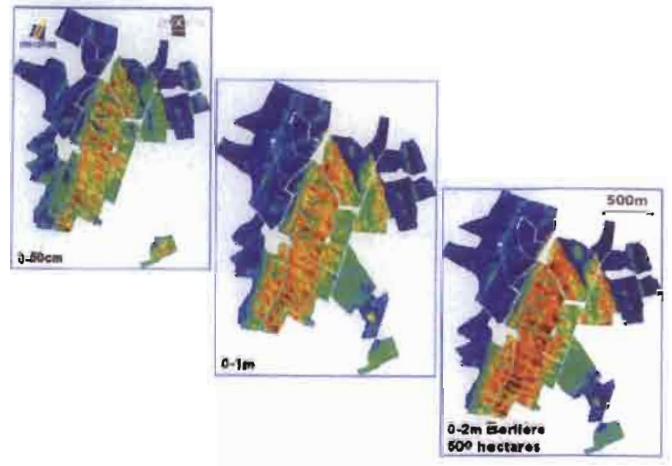
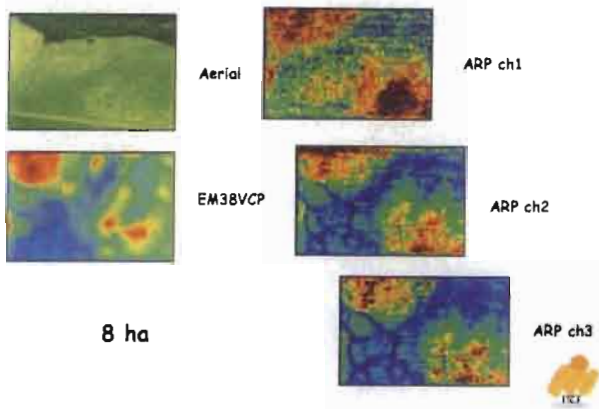
Comparison hand-made and ARP ER measurements



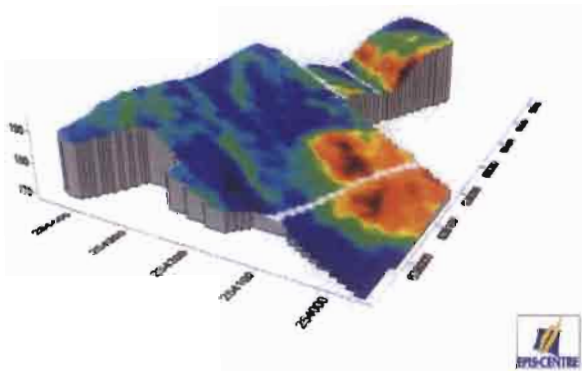
Hand-made
RM15 Pole-Pole, a = 50 cm
Dec 2000
2 weeks, 2 p., mesh 0.5 m x 0.5 m
75 000 data x 2

ARP
ch2, a = 1 m
Dec 2003
2 hours, 1 p., mesh 0.1 m x 1 m
50 000 data x 3

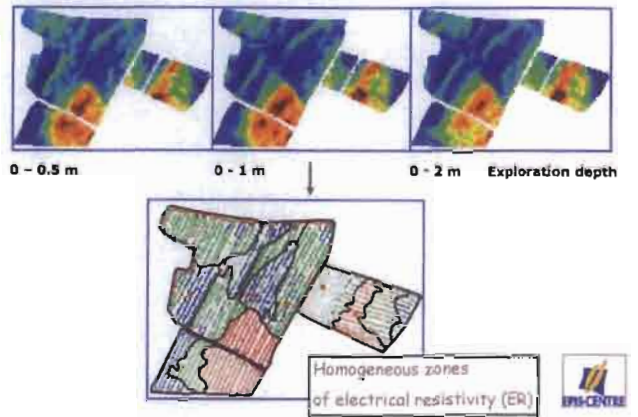
Comparison between different sensors : EM versus ER



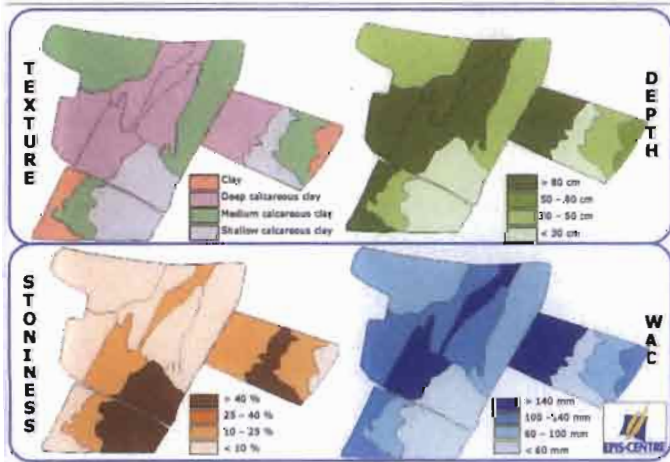
Electrical resistivity versus Digital Elevation Model (DEM)



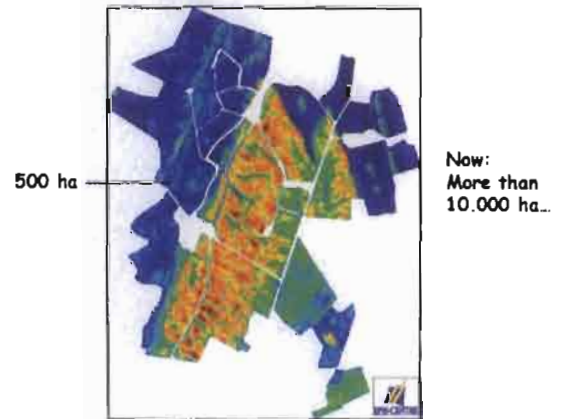
Soil mapping application using ER data over a 22 ha plot



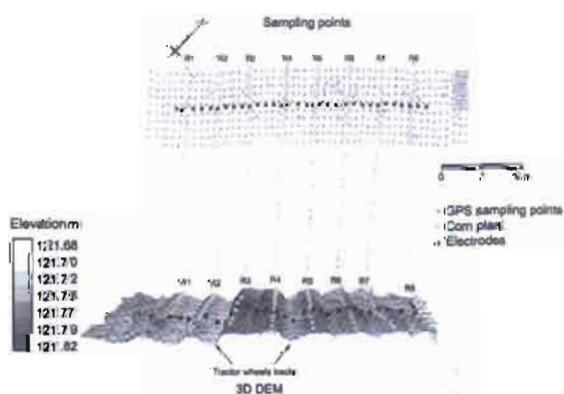
Derived parameters



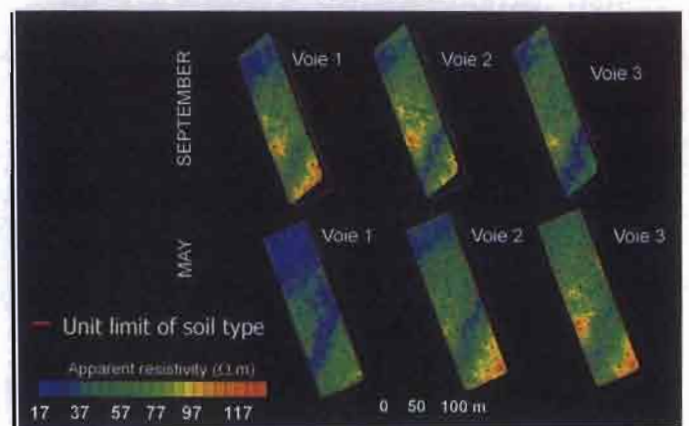
Towards higher scale and larger area mapping



ER survey and microtopography



Analysis of apparent resistivity maps



Geophysics-Remote sensing comparison



Soil map



Soils of the experimental plot

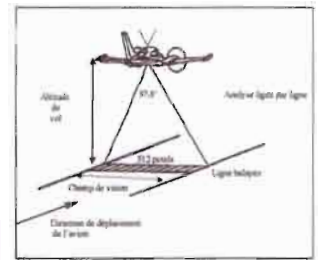


Electromagnetic survey



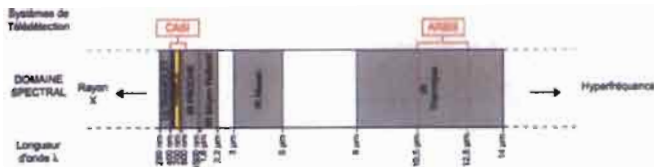
EM38 conductivimeter
 $f = 14,6 \text{ kHz}$
 Exploration depth
 $HCP = 1.2 \text{ à } 1.5 \text{ m}$
 $VCP = 0.75 \text{ m}$

Airborne multispectral survey



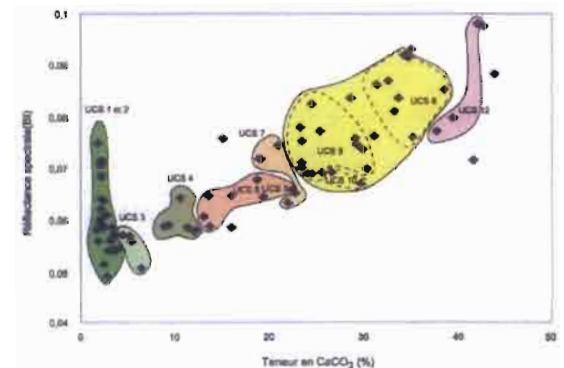
Multispectral radiometer CASI
 (Compact Airborne Spectrographic Imager)
 Visible + NIR
 32 bands

Electromagnetic spectrum

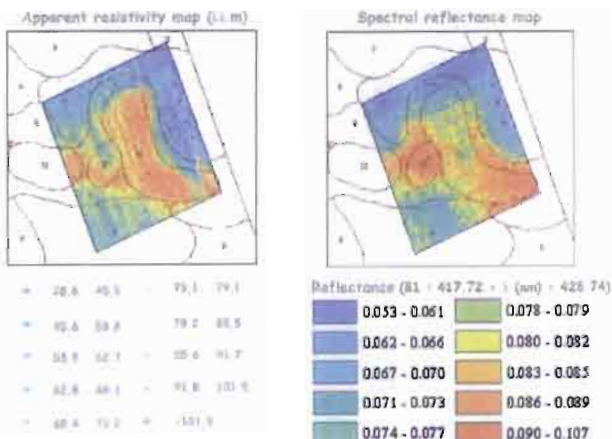


Reflectance
 $r = \text{reflected energy flux} / \text{incident energy flux}$

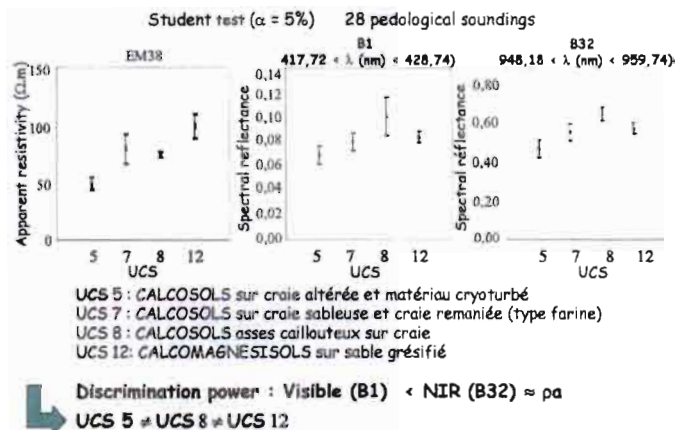
Reflectance - CaCO₃ relationship



Geophysics-Remote sensing comparison: mapping



Geophysics-Remote sensing comparison: discriminant analysis



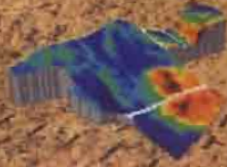
Many thanks to

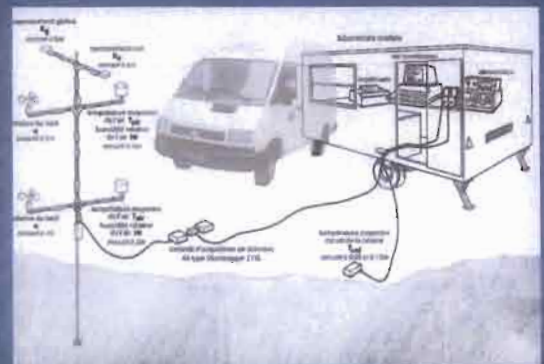
DABAS Michel



www.geocarta.net

MICHOT Didier





Modélisation des systèmes sol-plante-atmosphère, instrumentation

Georges Nzimiro

Institut de Recherche pour le Développement - IIRD / IIRD / IIRD / Bioemco -
Recherche et vulgarisation des milieux communaux - Centre d'Etude de l'Environnement
12 Avenue Henri Varagnac, 91141 Evry-sur-Seine, France

1. Introduction - un aperçu du système sol - plante - atmosphère

2. Domaine d'étude de la bioclimatologie

3. Modélisation des systèmes sol-plante-atmosphère

4. Cartographier la production végétale

4.1. Climats, formations végétales et environnement physique

4.2. Approche générale de la croissance

4.3. Photosynthèse et mesures de photosynthèse

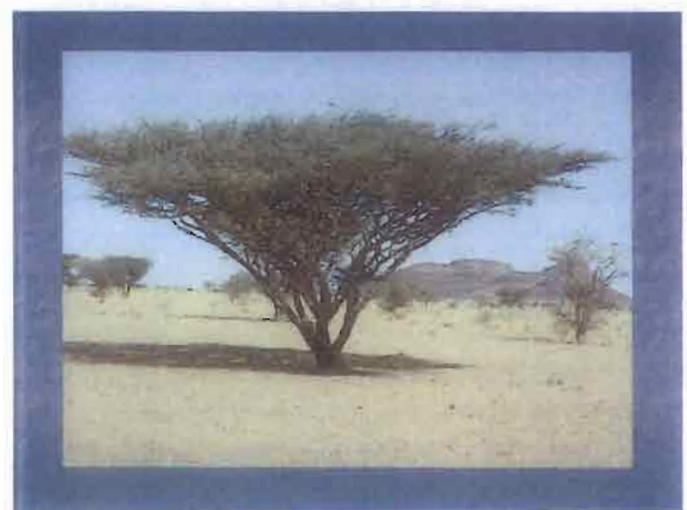
5. Système unifié (SPAC): Sol - Plante - Atmosphère - *Continuum* exemples des articles en bioclimatologie

5.1. Etude de la conductivité hydraulique des troncs d'hévéa

5.2. Bilan hydrique comparé d'une savane et d'une plantation d'Eucalyptus

5.3. Modélisation du bilan de l'eau d'une forêt

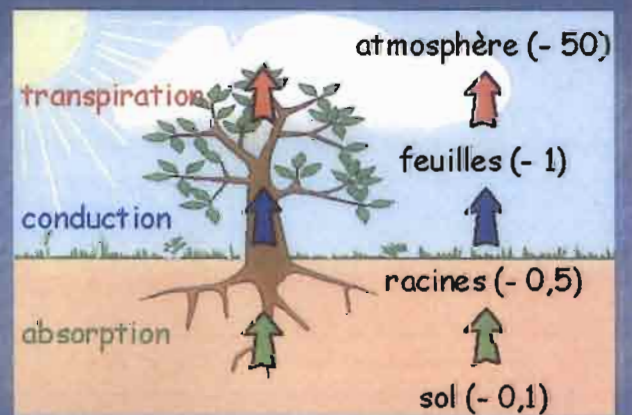
Introduction - un aperçu du système sol - plante - atmosphère

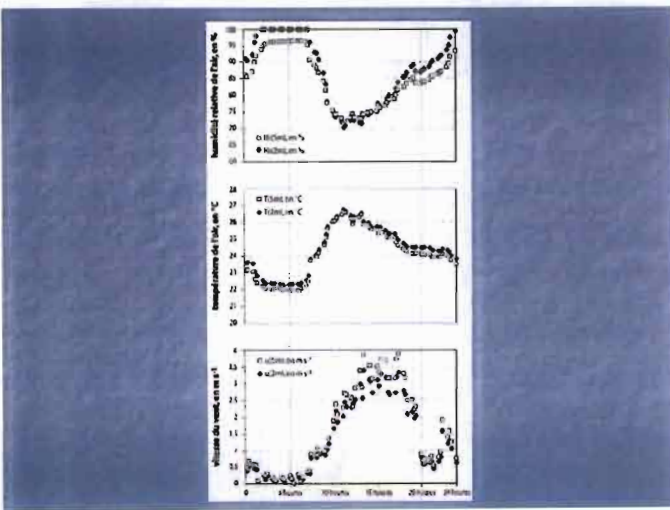
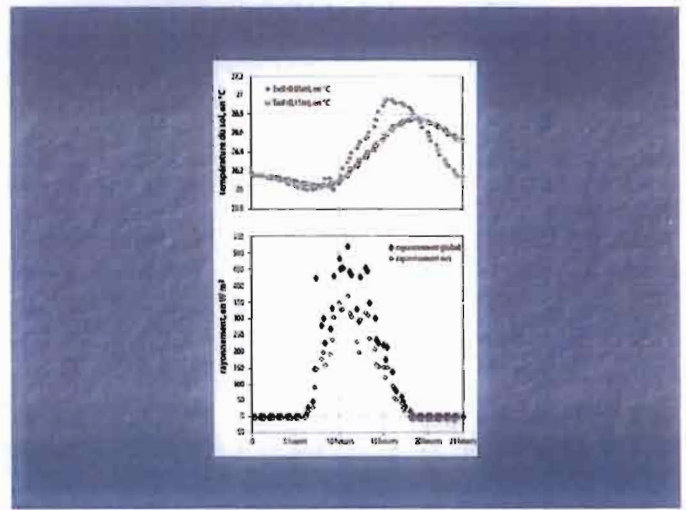
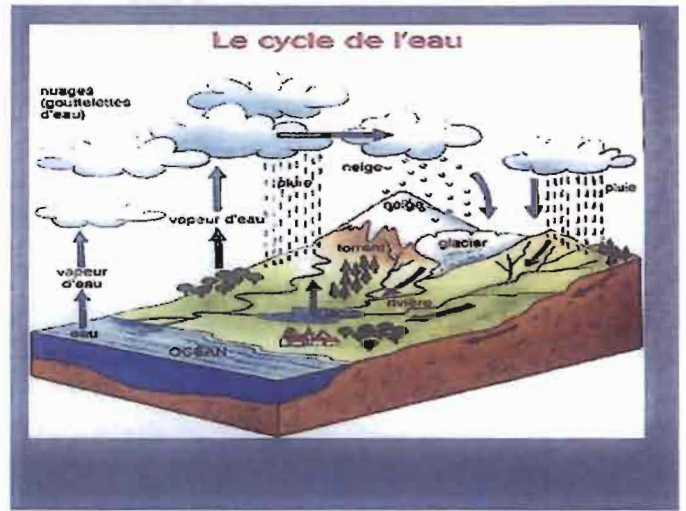
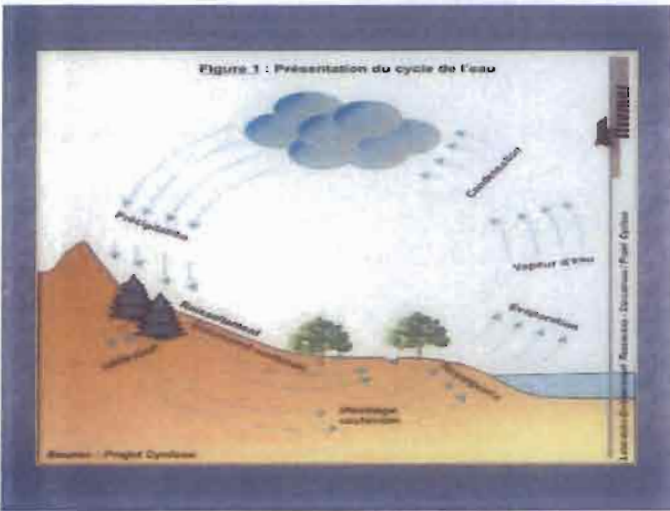






Domaine d'étude de la bioclimatologie

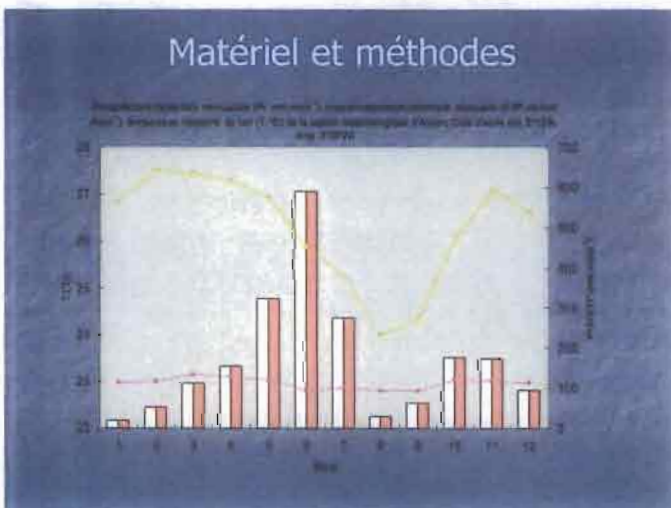
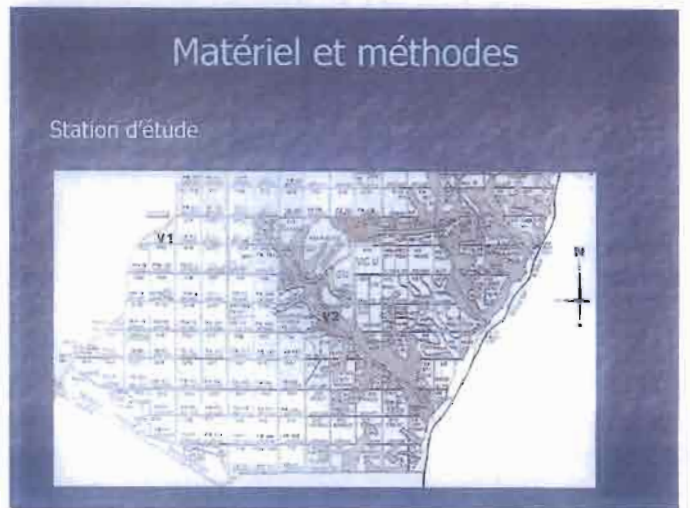
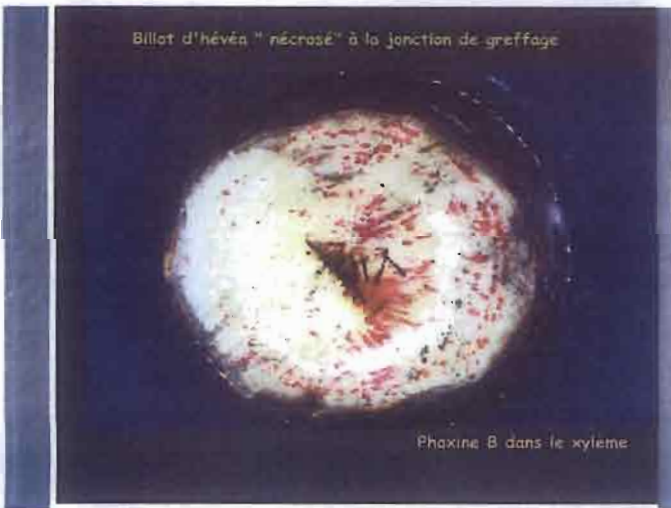




Bioemco IRD IBIOS

Modélisation des systèmes sol-
plante-atmosphère

Etude de la conductivité hydraulique des troncs d'hévéa: cas d'une plantation en Côte d'Ivoire



Matériel et méthodes

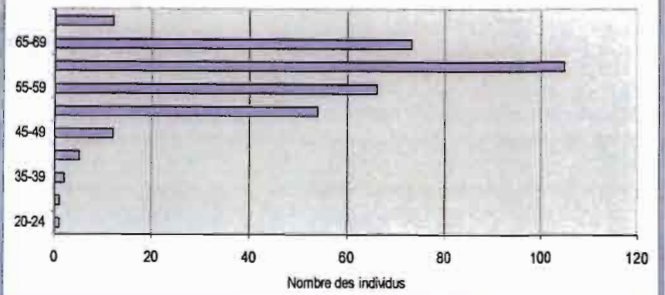
Dispositif expérimental et acquisition des données



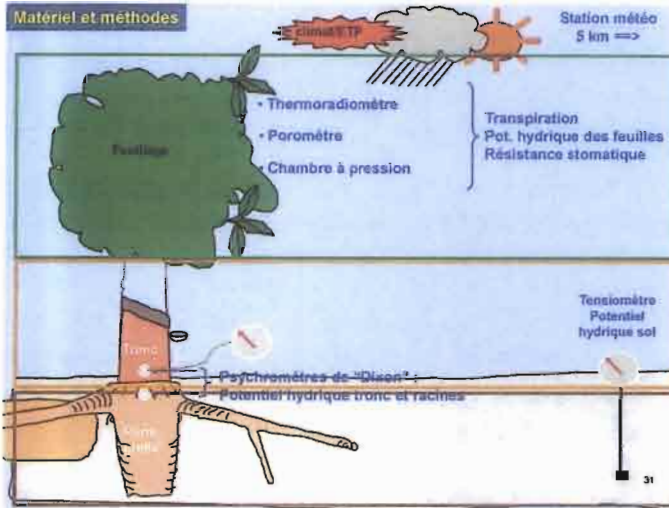
Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Circonférences des troncs à 1,30 m de la surface du sol



Matériel et méthodes



Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Profils micro météorologiques



Centrale d'acquisition + Capteurs

- Quantum (PAR)
- Pyranomètre ($R_{g,s}$)
- Bilanmètre ($R_{n,s}$)
- Anémomètre (v)
- Sonde Vaisala (H_r , T_r)
- Thermocouples (T_{soil})

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Température foliaire (T_f)

Radiothermomètre Laser Raytek



Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Résistance stomatique (r_s)

et au sommet de la canopée



Sur feuilles basses



Poromètre Delta-T AP4

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Potentiel hydrique foliaire (Ψ_f)



Chambre à pression PMS

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Potentiel hydrique du xylème du tronc (Ψ_{tronc}) et des racines ($\Psi_{racines}$)



Sonde psychrométrique de Dixon



Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Potentiel hydrique du sol (Ψ_{soil})



Tensiomètre + SMS 2500



Matériel et méthodes

Dispositif expérimental et acquisition des données

Teneur en eau du sol (θ_{soil})

Système de mesure TDR



Résultats de mai 2004

Grandeurs mesurées	2 Sains	3 nécrosés	Δ	Sig.
T_f (°C)	27,9	28,0	0,1	NS
T_{air} (°C)	27,1	27,1	0,0	NS
r_s ($g\,m^{-2}\,s^{-1}$)	1,8	1,8	0,0	NS
Ψ_f base (bars)	-3,2	-3,6	0,4	NS
Ψ_f moy. jour	$-3,0 \pm 0,07$	$-3,5 \pm 1,40$	0,5	NS
Ψ_f base (bars)	-4,1	-4,1	0,0	NS
Ψ_f moy. jour	$-4,0 \pm 0,07$	$-4,0 \pm 1,27$	0,0	NS
Ψ_r base (bars)	-4,1	-4,1	0,0	NS
Ψ_r moy. jour	-3,9	-4,2	0,3	NS

Résultats de sept. 2004

Grandeurs mesurées	5 Sains	5 nécrosés	Δ	Sig.
T_f (°C)	27,9	28,0	0,1	NS
T_{air} (°C)	27,1	27,1	0,0	NS
r_s ($g\,m^{-2}\,s^{-1}$)	$1,8 \pm 0,08$	$1,8 \pm 0,03$	0,0	NS
Ψ_f base (bars)	-3,8	-3,4	0,4	NS
Ψ_f moy. jour	$-3,5 \pm 1,02$	$-3,4 \pm 1,35$	0,2	NS
Ψ_f base (bars)	-4,0	-4,0	0,0	NS
Ψ_f moy. jour	$-3,8 \pm 1,00$	$-3,3 \pm 0,87$	0,2	NS
Ψ_r base (bars)	-4,0	-4,0	0,0	NS
Ψ_r moy. jour	-4,9	-5,2	1,10	0,3

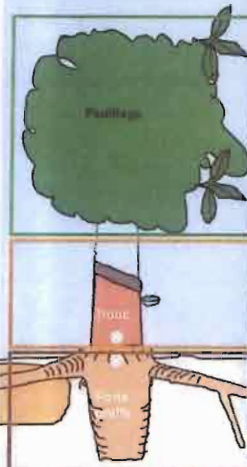
Résultats de mai et sept.

Grandeurs calculées	6 Sains	6 Nécrosés	Δ
Transpiration en $g\,H_2O\,s^{-1}$	$1,9 \pm 0,11$	$1,4 \pm 0,31$	0,5
Conductance du tronc aux feuilles, en $g\,H_2O\,s^{-1}\,bars^{-1}$	$0,3 \pm 0,17$	$0,2 \pm 0,18$	0,1
Conductance des racines aux feuilles, en $g\,H_2O\,s^{-1}\,bars^{-1}$	$0,6 \pm 0,08$	$1,6 \pm 0,11$	1,0
Conductance des racines au tronc, en $g\,H_2O\,s^{-1}\,bars^{-1}$	$0,2 \pm 0,09$	$1,1 \pm 0,31$	0,9

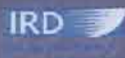
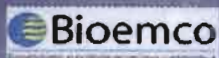
Résultats de mai 2004

Grandeurs mesurées	2 Sains	3 nécrosés	Δ	Sig.
T_f (°C)	27,9	28,0	0,1	NS
T_{air} (°C)	27,1	27,1	0,0	NS
r_s ($g\,m^{-2}\,s^{-1}$)	1,8	1,8	0,0	NS
Ψ_f base (bars)	-3,2	-3,6	0,4	NS
Ψ_f moy. jour	$-3,0 \pm 0,07$	$-3,5 \pm 1,40$	0,5	NS
Ψ_f base (bars)	-4,1	-4,1	0,0	NS
Ψ_f moy. jour	$-4,0 \pm 0,07$	$-4,0 \pm 1,27$	0,0	NS
Ψ_r base (bars)	-4,1	-4,1	0,0	NS
Ψ_r moy. jour	-3,9	-4,2	0,3	NS

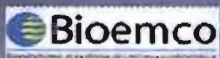
Résultats de sept. 2004



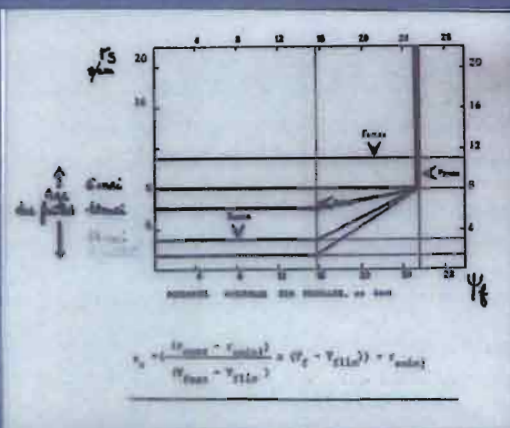
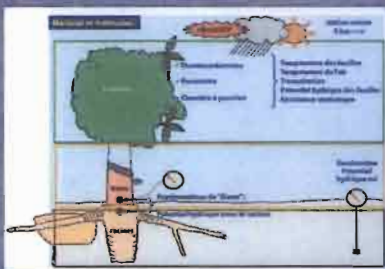
Grandeurs mesurées	5 Sains	5 nécrosés	Δ	Sig.
T_f (°C)	27,9	28,0	0,1	NS
T_{air} (°C)	27,1	27,1	0,0	NS
r_s (s.g.m.)	1,8 ± 0,45	1,8 ± 0,45	0	NS
Ψ_f base (bars)	-3,8	-3,4	0,4	NS
Ψ_f moy. jour	-3,2 ± 0,06	-3,4 ± 0,06	0,2	NS
Ψ_t base (bars)	-4,0	-4,0	0,0	NS
Ψ_t moy. jour	-4,0 ± 0,09	-4,0 ± 0,09	0	NS
Ψ_r base (bars)	-4,0	-4,0	0,4	NS
Ψ_r moy. jour	-4,9 ± 0,09	-5,2 ± 0,10	0,3	NS



Modélisation du bilan de l'eau d'une forêt



Je vous remercie de votre attention

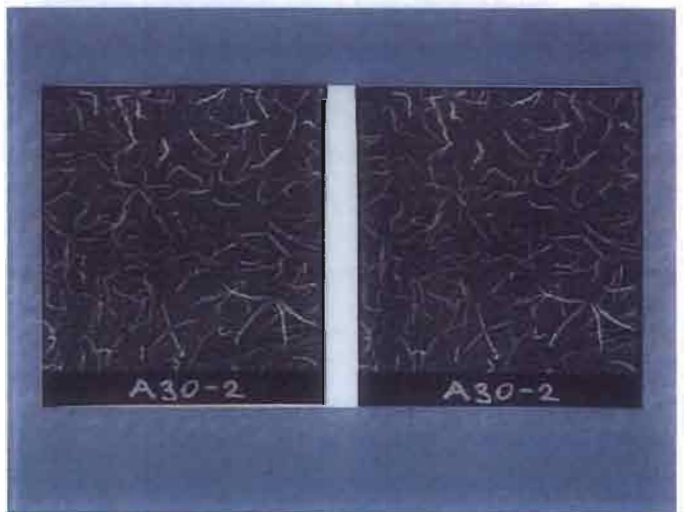
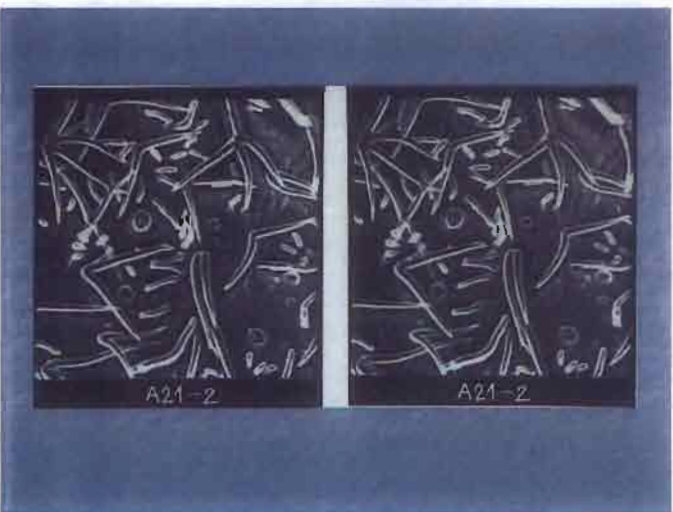
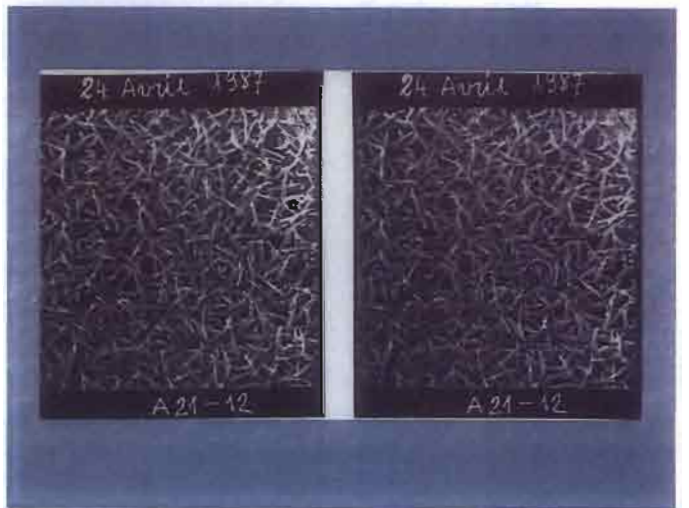
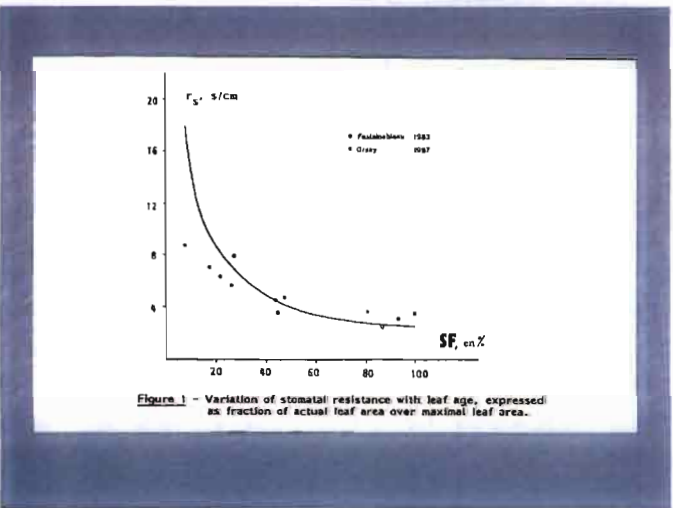
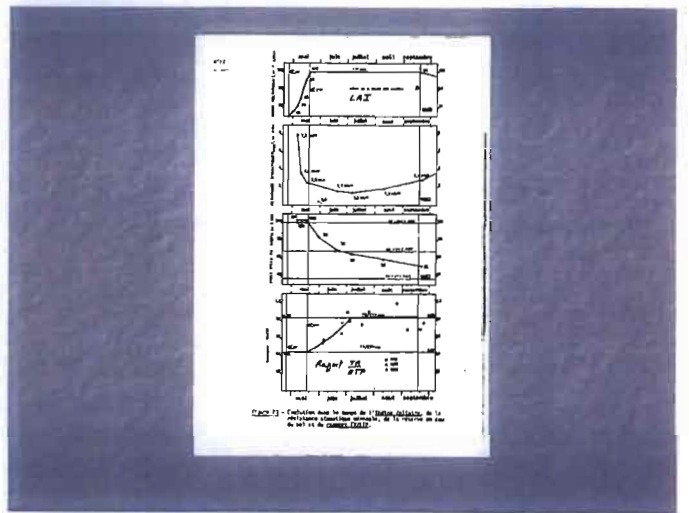


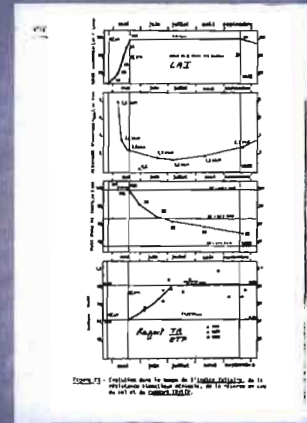
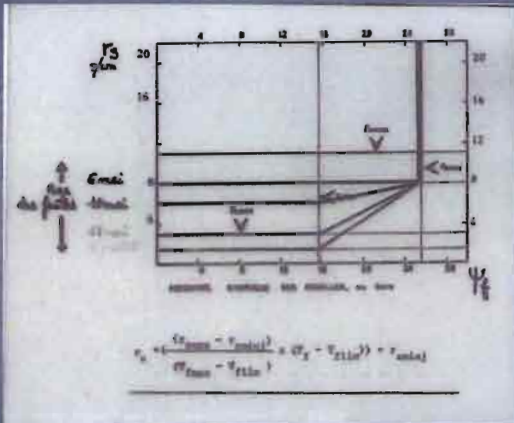
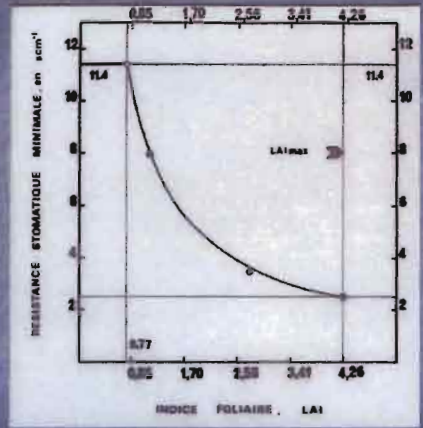
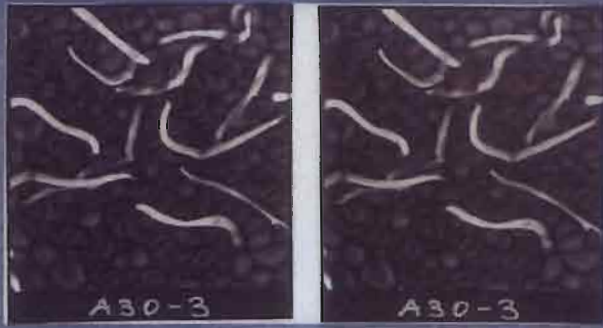


571

① Etape de dormance des bourgeons où LAI est constant et nul
 ② Etape "d'activation" physiologique des bourgeons qui se traduit par le débourrement
 ③ Etape de croissance de la surface des feuilles
 ④ Etape de plein développement des feuilles où LAI = LAI max
 ⑤ Etape de chute des feuilles où la surface totale des feuilles décroît.

Indice foliaire





Caractérisation et Simulation du mouvement de l'eau et du transfert des sels dans la région semi-aride Bouhajla (Kairouan – Tunisie Centrale)

S. Karoui & M. Hachicha

PLAN

- Introduction
 - ✓ Problématique
 - ✓ Objectif
- Présentation de la zone d'étude
- Caractérisation et modélisation du mouvement de l'eau et du transfert des sels
- Caractérisation des paramètres hydrodynamiques et des paramètres de transport des solutés
- Simulation de la dynamique de l'eau et des sels
- Variation spatio-temporelle et modélisation de la piézométrie et de la qualité de la nappe à l'échelle d'une sous unité du bassin versant
- Perspectives

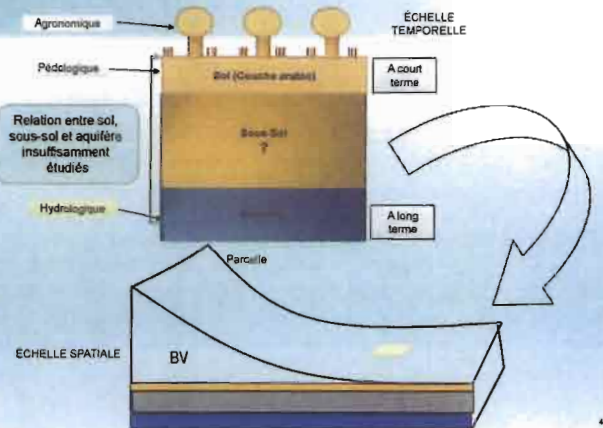
PROBLÉMATIQUE

Pays arides et semi-Arides

- Raréfaction de l'eau
- Qualité médiocre des eaux
- Endoréisation des milieux naturels
- Surexploitation des eaux souterraines

Risque de salinisation du sol et des aquifères

APPROCHES D'ÉTUDE DE LA SALINISATION DU SOL ET DE L'AQUIFÈRE



OBJECTIF

Etude des risques de salinisation du sol et de l'aquifère

Caractérisation (Mesures in situ)

Modélisation

Mouvement de l'eau

Transfert des sels

Réhabilitation (Amendements, lessivage, drainage, ...)

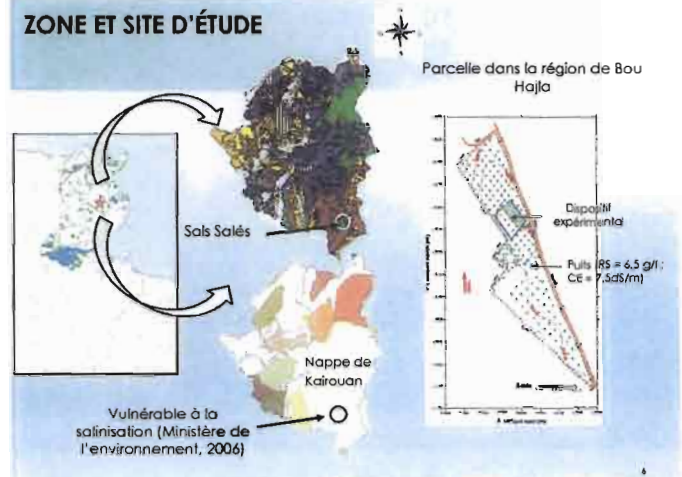
Milieu contrôlé

Au champs

L'amélioration des connaissances sur les processus de transfert

Prédiction des impacts de l'irrigation avec les eaux salées

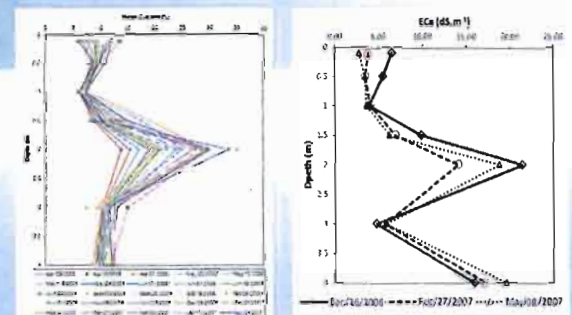
ZONE ET SITE D'ÉTUDE



CARACTÉRISATION MOUVEMENT DE L'EAU ET DU TRANSFERT DES SELS

Matériel et Méthodes

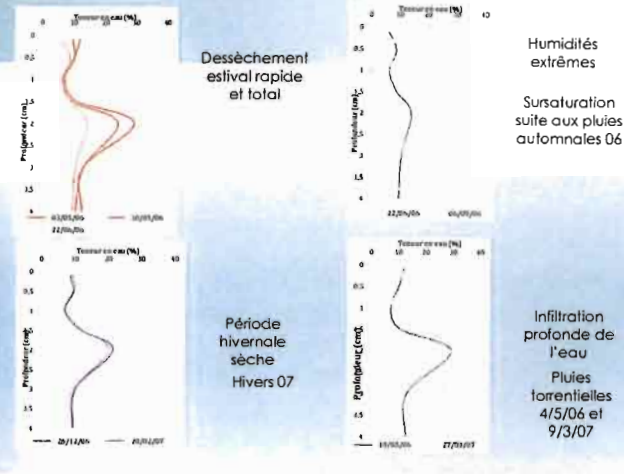
- ✓ Suivi de l'état hydrique du sol
 - Dispositif de sondes TDR à 4 m
- ✓ Suivi de la salinité du sol
 - 4 prélèvements – 577 jours (26/12/2006 – 22/07/2008)
- ✓ Station climatique



Principaux résultats

- Stratifcation des couches de sol : LA intercalée entre LS et SL
- Dynamique profonde de l'eau et des sels
- Risque pour l'aquifère

→ En fonction d'événements climatiques



→ Paramètres de Transport des solutés

Equation d'advection-Dispersion
$$\frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \frac{\partial(\theta C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \theta D \frac{\partial C}{\partial z} \right\} - \frac{\partial}{\partial z} (qC)$$

En régime hydrodynamique permanent :
$$\frac{\rho}{\theta} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{q}{\theta} \frac{\partial C}{\partial z}$$

Pour le cas d'un transport isotherme linéaire instantané $C = k_d \cdot S$
on a :

$$\left(1 + \frac{\rho}{\theta} k_d\right) \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{q}{\theta} \frac{\partial C}{\partial z}$$

En posant :

$$R = \left(1 + \frac{\rho}{\theta} k_d\right) : \text{facteur de retard } v = \frac{q}{\theta} : \text{vitesse moyenne des pores}$$

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z}$$

$$T = \frac{D}{R} \quad L = \frac{v}{R}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = T \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - L \frac{\partial C}{\partial z}$$

→ Admet des solutions analytiques !!!!

CARACTÉRISATION DES PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES ET DES PARAMÈTRES DE TRANSPORT DES SOLUTÉS

→ Paramètres hydrodynamiques des sols insaturés : Courbe de rétention
Courbe de conductivité hydraulique

Suivi : Méthode d'évaporation

- θ par gravimétrie
- h par des capteurs Watermark

Logiciel RETC (van Genuchten et al., 1991)

$h(\theta)$ mesurés
ajustés sur le modèle de Van Genuchten et Mualem (1980)

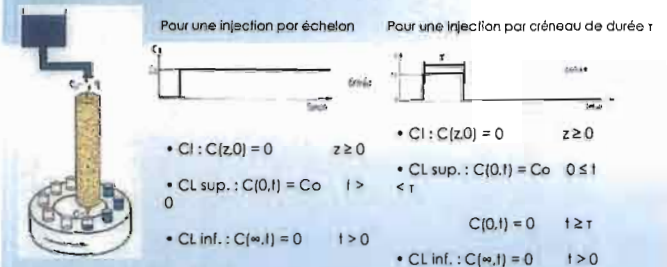
$$S_e(h) = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[1 + \left| \frac{h - h_r}{\alpha |h - h_r|^n} \right| \right]^{-m} \quad \text{si } h < 0$$

$$S_e(h) = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[1 + \left| \frac{h - h_r}{\alpha |h - h_r|^n} \right| \right]^{-m} \quad \text{si } h \geq 0$$

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad n > 1 \quad N_s = \frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

Estimation de $\alpha, n, \theta_r, \theta_s$ et K_s

Solutions analytiques de l'équation de l'EDA simplifiée



$$\frac{C(z,t)}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{z-ut}{\sqrt{4Dt}} \right) + \frac{2ut}{\sqrt{\pi L}} \exp \left(-\frac{(z-ut)^2}{4Dt} \right) - \left(1 + \frac{zL}{T} + \frac{L^2}{T} \right) \exp \left(\frac{Lz}{T} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{z+L+Lz}{\sqrt{4Dt}} \right) \right]$$

$$C'(z,t) = C(z,t) - C(z,-\tau)$$

SIMULATION DE LA DYNAMIQUE DE L'EAU ET DES SELS

MODÈLES DÉTERMINISTES MÉCANISTES

Hypothèses de base

- Matrice poreuse rigide, souvent considérée comme homogène et isotrope
- Phase liquide incompressible
- Phase gazeuse continue et à pression atmosphérique
- Température constante
- Les différentes grandeurs qui interviennent dans les transferts (flux, teneur en eau, vitesse, etc.) sont représentées par des valeurs moyennes à l'échelle macroscopique

Equations générales du mouvement de l'eau / Equation de Richards

Equation de Darcy : $q = -K(h) \cdot \operatorname{grad}(h(\theta) - z)$

Equation de continuité : $\frac{\partial(\theta)}{\partial t} = -\operatorname{div}(q)$

L'équation de Richards : $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \operatorname{div}(K(h) \cdot \operatorname{grad}(h(\theta) - z))$

→ En terme de Potentiel de pression → Equation de Richards sous la forme capacitive

Capacité capillaire $C'(h) = \frac{\partial \theta}{\partial h} \quad C'(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \operatorname{div}(K(h) \cdot \operatorname{grad}(h(\theta) - z))$

Equation de transport isotherme d'Advection - Dispersion (EAD) :

Termes d'accumulation, Dispersion, Advection, Terme Source

$$\frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \frac{\partial(\theta C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \theta D(\theta, q) \frac{\partial C}{\partial z} \right\} - \frac{\partial}{\partial z} (qC) - \Phi$$

Simulation de la dynamique de l'eau et des sels Modèle HYDRUS-1D (Simunek et al., 2005)

Simulation numérique unidimensionnelle

Mouvement de l'eau (Equation de Richards)

Transport des solutés (EAD)

→ $\theta(h)/K(h)$: Paramètres hydrodynamiques

→ Limite supérieure

P+1: Apports en eau

ET0: Estimée par ET0 (Raes et al., 2008)

→ Paramètres de transport des solutés

Disp, Diff : littérature

Kd: Essai de Batch à l'équilibre



Monolithe + Logiciel RETC (van Genuchten et al., 1991)

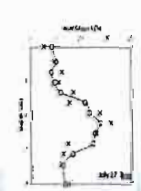
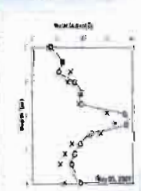
Ks: Muniz charge fixe
Da: Méthodes des cylindres

→ Calibration du modèle Hydrus-1d

→ Validation du modèle Hydrus-1d

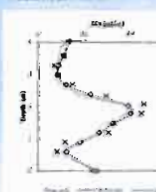
Profil hydrique du 10ème

Profils hydriques



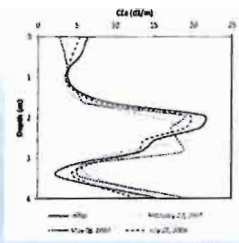
Profil salin du 10ème

Profils salins



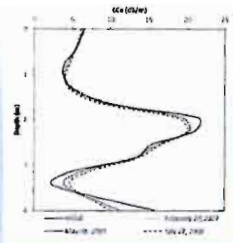
ETUDE DE L'EFFET DES PLUIES SUR LA DYNAMIQUE DES SELS

- Dans les régions semi-arides, les événements pluvieux exceptionnels et de fortes intensités jouent un rôle important sur la dynamique de l'eau et des sels dans le sol
- Evènement pluvieux de 50 mm/j survenu le 09 Mars 2007



Avec la pluie de 50 mm/j

→ Transfert profond des sels vers l'aquifère



Sans la pluie de 50 mm/j

→ Absence du lessivage des sels

A l'échelle d'une sous-unité du BV

- 45 puits dans la région de Bouhajla (Kairouan – Tunisie Centrale) : 162 km²



- Levée des coordonnées UTM (x,y,z)
- Suivi de la piézométrie : H (m)
- Suivi de la qualité : CE (dS/m)



(Google Earth, 2011)

Carte piézométrique mesurée



Superposition des deux cartes



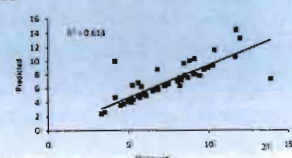
Gradient vers chott Mechertate à l'aval du périmètre

Carte piézométrique simulée



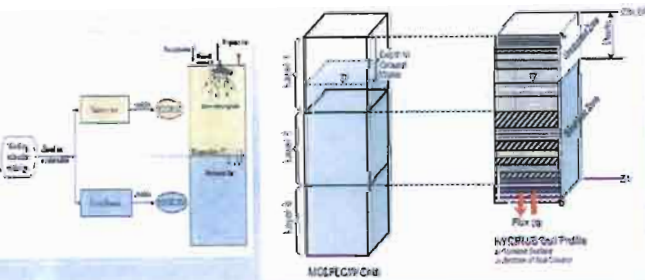
Bonne simulation de la dynamique des eaux souterraines

Scatter Diagramm

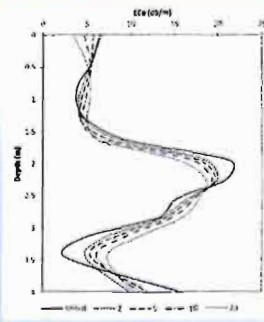


PERSPECTIVES

- Modélisation hydrogéologique en régime transitoire (depuis 2004) et validation du modèle Modflow 2000
- Couplage ZNS – ZS : Package Modflow 2000 – Hydrus-1d (Tawarkovi et al., 2008)



SIMULATION À LONG-TERME SUR 20 ANS

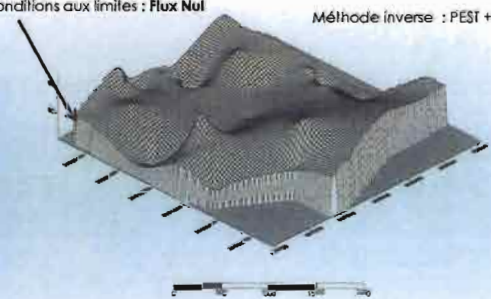


- Salinisation cyclique et réversible dans la couche arable sous l'effet des pluies de faibles intensités et de l'évaporation
- Lessivage continu en profondeur des sels
- → Risque de contamination de l'aquifère

Kenzou S., Hachicha M., Bouhila R. and Bachfi-Solou J., 2011. Characterization and modeling of water dynamics and salt transport in a semi-arid region of Tunisia (Bou Hajla, Kairouan)-Salinization risk of water and aquifers. Computers and Electronics in Agriculture. In press.
Kenzou S., Hachicha M., Bouhila R. and Bachfi-Solou J., 2011. Simulation of Water and Salts Dynamics in Bouhajla (Central Tunisia): 10 Exceptional Rainfall Effect. Soil and Water Research. In press.

Modélisation hydrogéologique Modflow 2000 Pro (Kinzelbach et al., 2000)

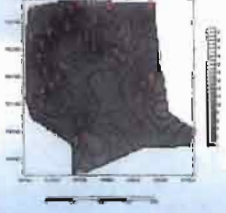
- Régime permanent : 2010
- Recharge : Pluie
- Terme source : Evapotranspiration
- Maillage : 50 x 50 m
- Paramètres hydrauliques : Transmissivités
- Paramètres de transport des solutés : Diffusion
- Conditions aux limites : Flux Nul
- Méthode inverse : PEST + UCODE



Carte de salinité mesurée



Superposition des deux cartes



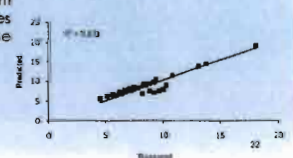
Gradient vers des dépressions au nord ouest de la zone d'étude : Sebkhos + Encroûtements gypso-calcaires

Carte de salinité simulée

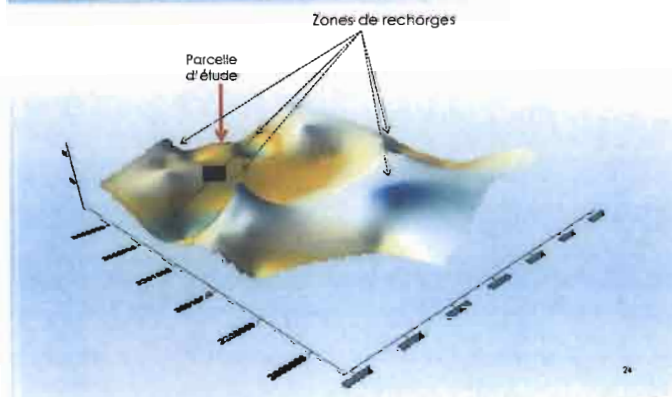


Modèle reproduit assez parfaitement la dynamique des sels dans la nappe de Bouhajla

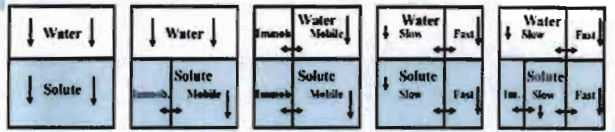
Scatter Diagramm



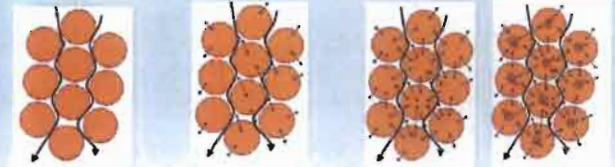
- Identification des zones de recharge
- Modélisation des écoulements et du transport dans des milieux fracturés
- Scénarii d'exploitation et de gestion de la nappe



Modèles en conditions de non équilibre (Šimunek et van Genuchten, 2008)



Écoulement uniforme, Eau Mobile-Immuable, Double Porosité, Double Perméabilité, Double Perméabilité + Mobile-Immuable



Equation de Transport avec échange latéral



$$\theta = \theta_m + \theta_{im}$$



$$\frac{\partial(\theta_m C_m)}{\partial t} + \frac{\partial(\theta_{im} C_{im})}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \theta_m D_m \frac{\partial C_m}{\partial z} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \theta_{im} D_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial z} \right\} - q \frac{\partial}{\partial z} (C_m) - \Phi$$

En négligeant les effets de dispersion longitudinale et en régime hydrodynamique uniforme :

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \theta_m \frac{\partial}{\partial z} \left\{ D \frac{\partial C_m}{\partial z} \right\} - q \frac{\partial}{\partial z} C_m - \Phi$$

En introduisant la notion de pourcentage d'eau mobile $f = (\theta_m / \theta)$

• La présence d'eau liée génère d'importants transferts diffusifs entre les deux phases liquides

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} + \frac{(1-f) \partial C_{im}}{f \partial t} = D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - q \frac{\partial}{\partial z} C_m - \Phi$$

• Si l'on admet que le taux d'échange de soluté entre la solution mobile et la solution stationnaire est proportionnel à la différence de concentration dans chacune des fractions

$$\theta_m \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im}) \quad \alpha : \text{coefficient de transfert } [T^{-1}]$$

Equation de Transport avec échange latéral et sorption

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} + f' \rho \frac{\partial S_m}{\partial t} + (1-f') \rho \frac{\partial S_{im}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - q \theta_m \frac{\partial}{\partial z} C_m - \Phi$$

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + (1-f') \rho \frac{\partial S_m}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im})$$

S_m, S_{im} : concentration des phases adsorbées dans le sol mobile et dans le sol immobile
 f' : pourcentage de sol mobile
 ρ : masse volumique du sol ($M L^{-3}$)
 α : coefficient de transfert (T^{-1})

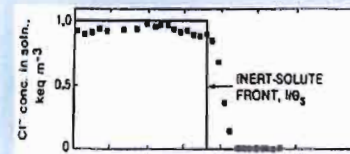
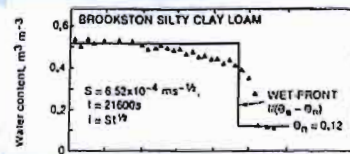
En admettant une cinétique instantanée des échanges et une isotherme de Freundlich pour décrire la sorption :

$$\frac{\partial S}{\partial t} = NK C_m^{N-1} \frac{\partial C_m}{\partial t}$$

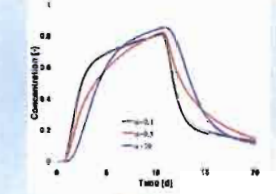
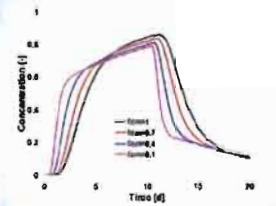
$$\left(\theta_m + f' \rho K N C_m^{N-1} \right) \frac{\partial C_m}{\partial t} + \left(\theta_{im} + (1-f') \rho K N C_{im}^{N-1} \right) \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - q \theta_m \frac{\partial}{\partial z} C_m - \Phi$$

$$\left(\theta_m + (1-f') \rho K N C_{im}^{N-1} \right) \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im})$$

Courbes de percée modélisées par les équations de transport avec échange latéral et sorption

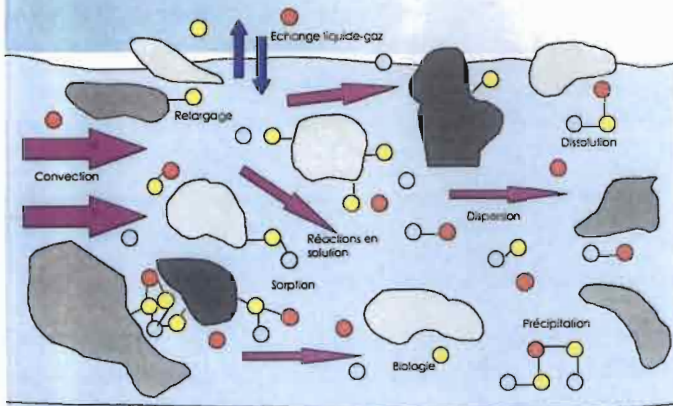


(Gaidi et al., 2002)



(Šimunek and van Genuchten, 2008) 28

Zone non saturée du sol : le terme Φ





**Sustainable management of
adverse impacts on farming and
soil ecosystem associated with long
term use of low quality irrigation
water**

Alaa Zaghoul
May 2009

Problems of Contamination



PRESENTATIONS DES PARTICIPANTS



Project Title

Sustainable management of adverse impacts on farming and soil ecosystem associated with long term use of low quality irrigation water

overall objective

- The sustainable management of adverse impacts on farming and soil ecosystem associated with long term use of low quality irrigation water.
- Monitor the deterioration adverse impacts of applying low quality of irrigation water
- Innovate proper technologies to compact these adverse impacts on farming and soil ecosystem.

Specific Objectives

- The use of best management practice (BMPS) to improve both farming and soil ecosystem exposed to low quality irrigation water using computer models.
- Improving planning and management procedures to appropriate, allocate and use low quality water are key measures to satisfying future demands in Egypt depends on better utilization and efficient use of present water resources

Specific Objectives

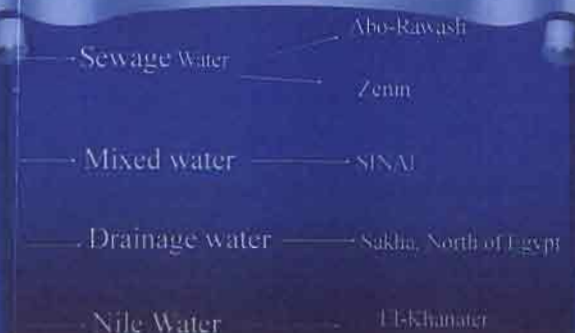
- Address issues of Best Management Practices (BMPS).
- Mapping pollutants in soils irrigated with low quality water
- Evaluating the potential toxicity of these soils using three point models Evaluating the potential toxicity of these soils using three point models
- Rate process of pollutants desorption from used polluted soils.

Specific Objectives

- Assessing alternative chemical enrichment protocols of polluted soils
- Establishment of new techniques in remediation or minimizing the hazards of pollutants in contaminated Soil and water
- Survival and removal of enteric pathogens from decontaminated soils

Sampling Strategy

Low Quality Water

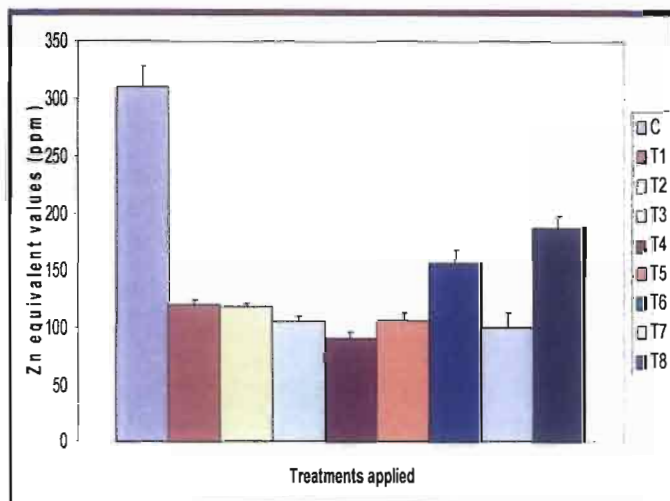


Abo-Rawash



Rate constants of Ni desorption from sewaged soils

Treatments	R2	SE	a	b
cont	0.99	0.77	3.38	2.27
T1	0.97	1.00	2.42	0.89
T2	0.97	1.30	2.15	4.54
T3	0.99	0.44	1.29	1.40
T4	0.97	0.39	0.70	0.14
T5	0.97	0.69	0.44	1.12
T6	0.98	0.64	1.79	1.42
T7	0.99	0.61	1.72	1.55
T8	0.98	0.82	1.95	2.44



SINAI







Dr Diouma KOBOR

Research Field on Materials Science

22/12/2011



Dr Diouma KOBOR

- Doctorat (phD): 2005 INSA – Lyon
- Research Field: Materials Science

Professional Adress

Université de Ziguinchor
UFR Sciences et Technologie
Département de Physique
BP 523 Ziguinchor - Senegal

22/12/2011



Department of Physics

Created: January 2007

Students Origin

- Mathématiques Physique Chimie et Informatique of UDZ
- Senegalese Universities
- From Gambia
- From Bissau and Conakry Guinea

Licence Physique Générale

Material Engineering

Atmospheric and
Oceanographic Sciences

23/12/2011



Projet de Recherche

- Prélèvement et Caractérisation de terre dans la Région de la Casamance extensibles sur l'ensemble du territoire sénégalais (AUF)
- Réalisation de briques en terre cuite pour le confort climatique (AUF)
- Lutte contre la salinisation des terres cultivables et de son effet sur la mangrove (Projet de Recherche de Master 2) en collaboration avec des collègues hydrologues de l'UCAD

22/12/2011



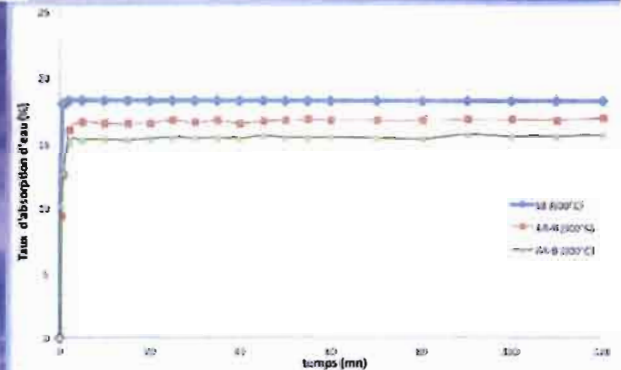
Absorption par capillarité en fonction du temps

Principe de la mesure:

Détermination de la quantité d'eau absorbée par capillarité.

Cet essai consiste à mesurer l'accroissement de la masse de l'éprouvette placée dans un récipient dont le niveau d'eau est maintenu à 1 cm au dessus de la face inférieure de l'éprouvette. On en déduit le temps au bout duquel l'éprouvette est saturée en eau.

22/12/2011



23/12/2011

Fig. 4.3: Taux d'absorption par capillarité en fonction du temps

QUELQUES APPLICATIONS DES SIG DANS LES DOMAINES DE LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA GESTION DES RISQUES NATURELS, ET SANTE PUBLIQUE

Zine El Abidine El Morjani,

Université Ibn Zehr d'Agadir, Maroc

elmorjaniz@gmail.com

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

Disaster risk Modelling

Modélisation des risques naturels

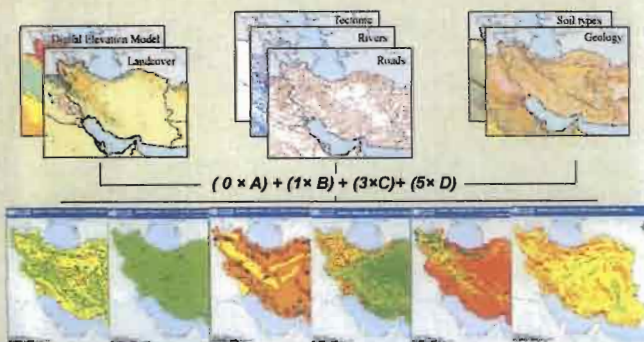
Génération d'un Atlas digital multirisque dans 100 pays avec comme objectifs:

- encourager les ministères de la Santé et d'autres organismes à améliorer leur capacité de gestion des désastres
- améliorer la préparation aux catastrophes dans le secteur de santé, faciliter les mesures de réponse de secours par la création des meilleures information, donner la priorité aux secteurs sensibles pour augmenter les activités de réductions.

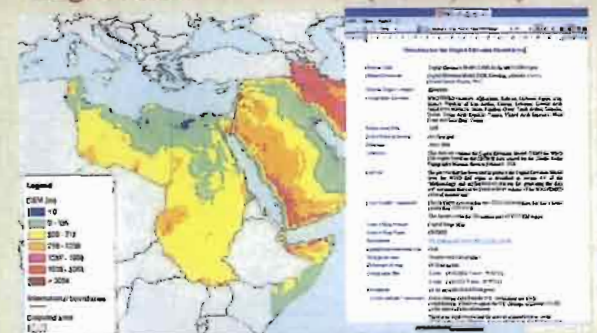
Réduction de désastre et d'éviter leur effets nuisibles (morts, destructions des infrastructures) par élaboration des cartes de distribution des risques pour 5 aléas dans 100 pays (inondation, glissement de terrain, tremblement de terre, vague de la chaleur, tempête). Elle consiste à :

- ◆ Distribution spatiale de chaque aléas
- ◆ Distribution spatiale de la vulnérabilité
- ◆ Distribution spatiale de risque (**Risque = Aléas x Vulnérabilité**)

Atlas digital multirisque: The WHO e-atlas

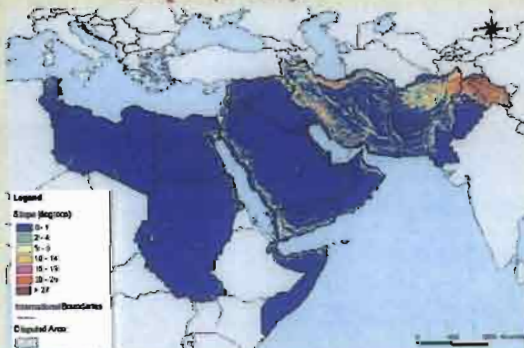


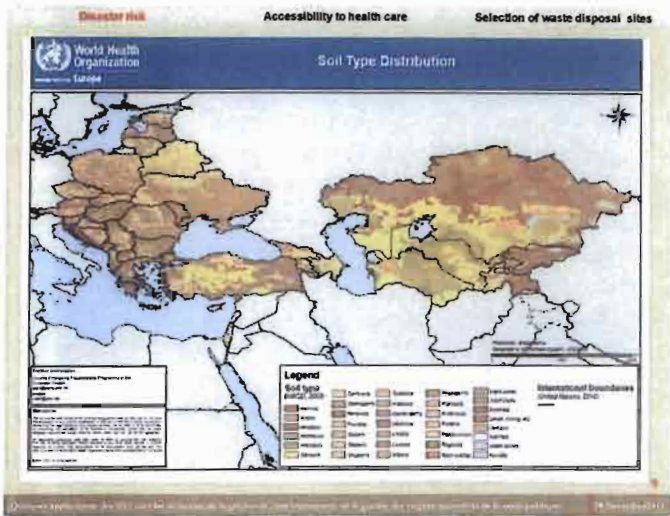
- Digital Elevation model (DEM, 1km)

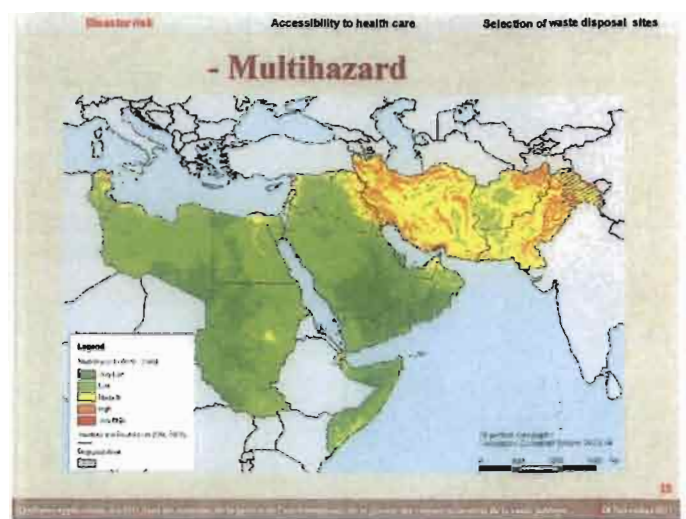
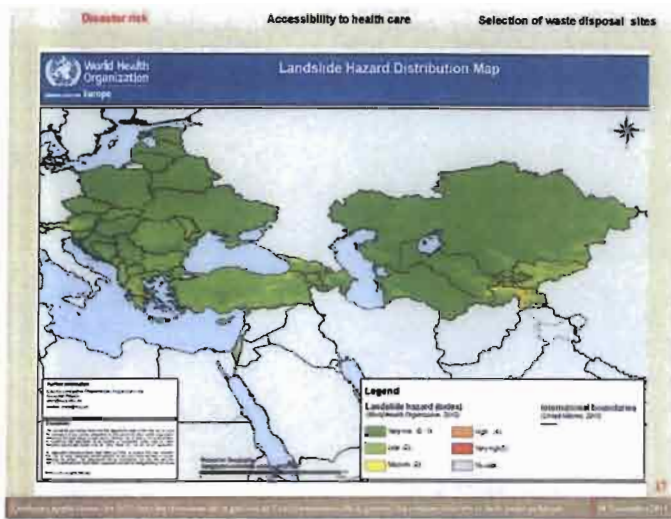


Source: SRTM 30, NASA, 2000

- Slope (1 km)







Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

Atlas digital multirisque: The WHO e-atlas

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

Volume 1 – Distribution des aléas

Ce premier volume contient:

- données et des documents qui ont été compilés et créés pour générer la distribution spatiale des 5 aléas,
- les cartes résultantes en pdf (country level) et en SIG (regional level) format;
- liens avec d'autres importantes informations de l'évaluation des catastrophes naturelles (web sites, reports, etc).

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

Volume 2 – Distribution de la Vulnérabilité

Le second volume de l'atlas sera consacré à la vulnérabilité de la population :

- Facteurs socio-economic affectant la vulnérabilité de la santé de la population (richesse, hôpitaux, éducation, etc.);
- Accessibilité aux différentes infrastructures qui pourraient aider à diminuer la vulnérabilité de la population vis à vis aux aléas (centres de santé, écoles, etc.);
- Proximité aux infrastructures qui pourraient être très sensibles aux aléas (usines chimiques, centrales nucléaires, canalisations, etc.)

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

- Ces géospatial data sont les clef de développement de cet Atlas
- Les méthodes présentées ici pourraient être appliquées dans d'autre pays ou régions
- Ces cartes produites dans ce contexte de ce premier volume pourrait être utilisées par les décideurs pour les planification et gestion de réduction de disaster.
- Plusieurs pays ont exprimés leur intérêt dans l'application de cet approche à l'échelle du pays (Iran, Morocco, Pakistan, Sudan and Yemen) et aussi à l'échelle du continent

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

Physical Accessibility Modeling for Health Care Planning & Analysis

Modélisation de l'accessibilité aux centres de soin de santé. Elle consiste à :

- Estimer la population qui a un accès physique aux infrastructures sanitaires. Analysis of an existing health facility network through the generation of catchment areas and determination of the population covered by each of the facilities.
- simuler la localisation la plus appropriée pour l'installation des nouveaux centres de soin afin d'améliorer l'accès aux soins. Determination of the location for new health facilities, and the population they cover, in order to scale up an existing network.

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

Extension sous ArcView

AccessMod 2.1

Nécessite 3 couches d'information comme input:

- Distribution du temps de trajet (grille)
- Distribution de la population (grille)
- Localisation des centres de soins avec attributs (vecteur)

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

AccessMod

Wizard guidant les utilisateurs

Analyse du réseau sanitaire existant

Complément du réseau sanitaire existant

AccessMod 2.1

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

AccessMod

Résultats

Réseau sanitaire existant

Complément du réseau sanitaire existant

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

Selection of domestic and industrial waste disposal sites in a semi-arid region (Souss, Morocco).

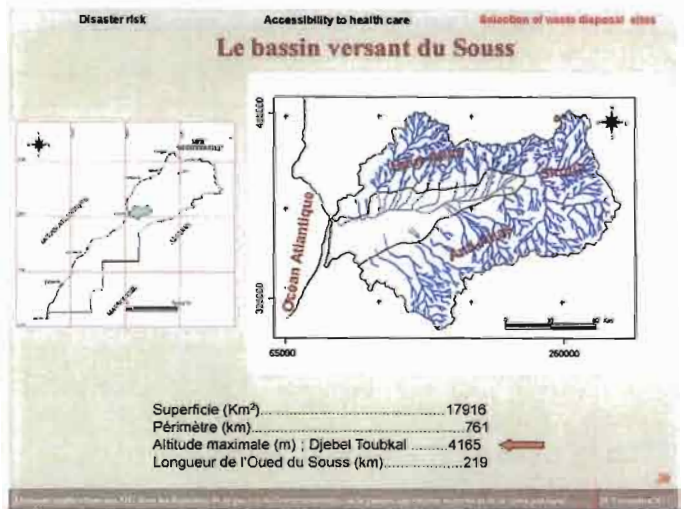
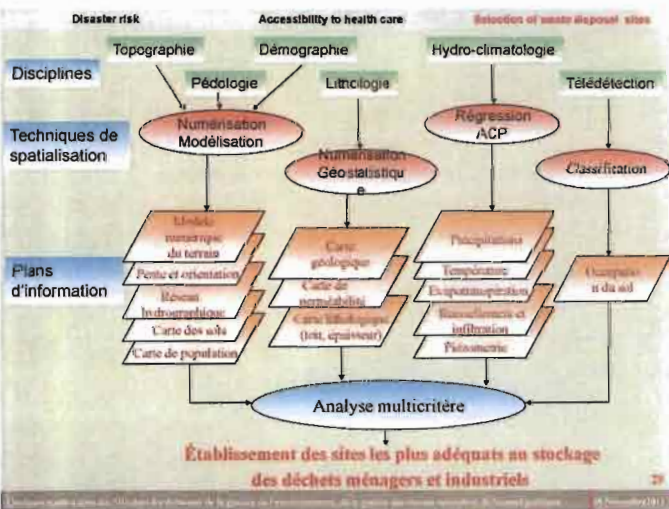
Sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels dans le bassin du Souss. Outil d'aide à la décision permettra aux gestionnaires de gérer et d'analyser les informations nécessaires pour la sélection de sites adéquats au stockage des déchets ménagers et industriels

- ♦ contribution à la protection de l'environnement, à la santé publique et à la diminution des obligations imposées aux générations futures, en limitant la prolifération des décharges sauvages

Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

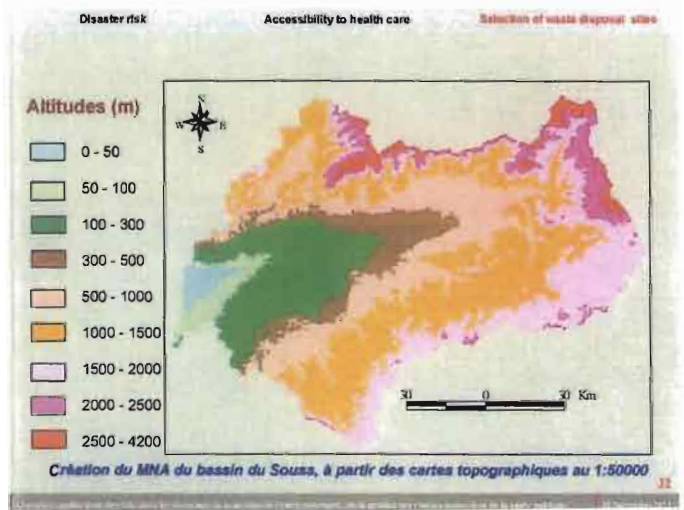
Élaboration d'une approche optimale pour la gestion environnementale, intégrant le concept de développement durable (bassin versant du Souss). Elle consiste à :

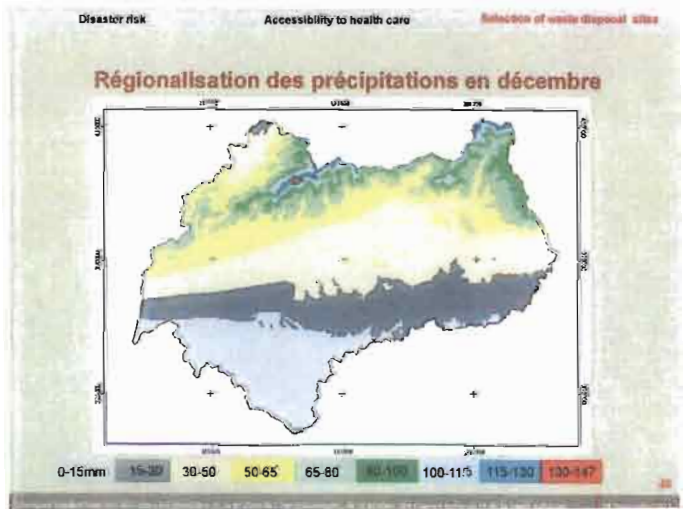
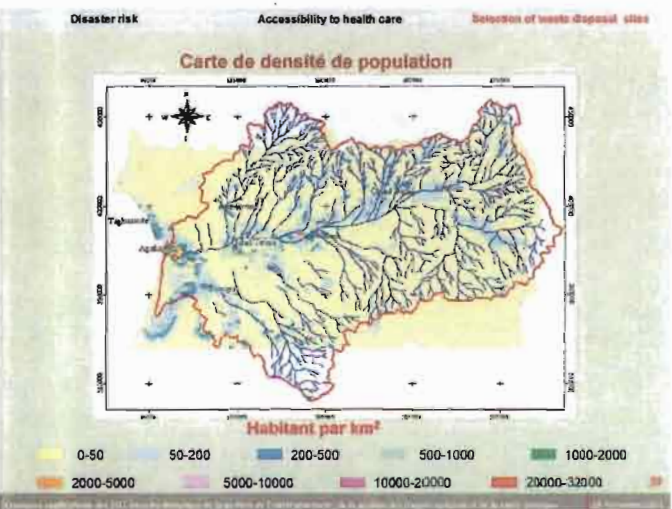
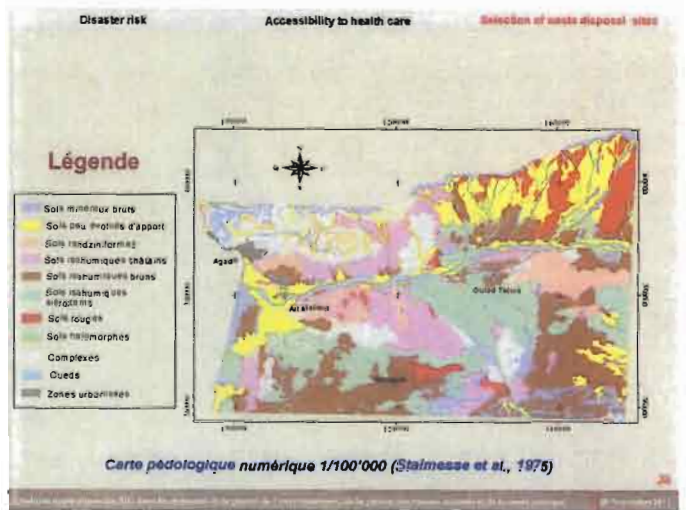
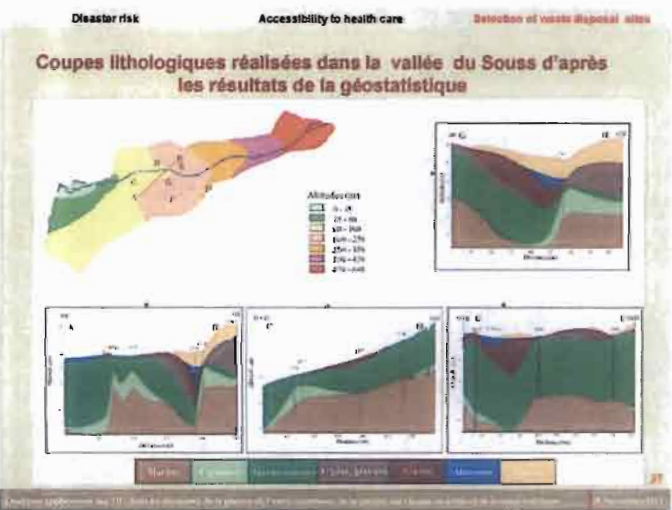
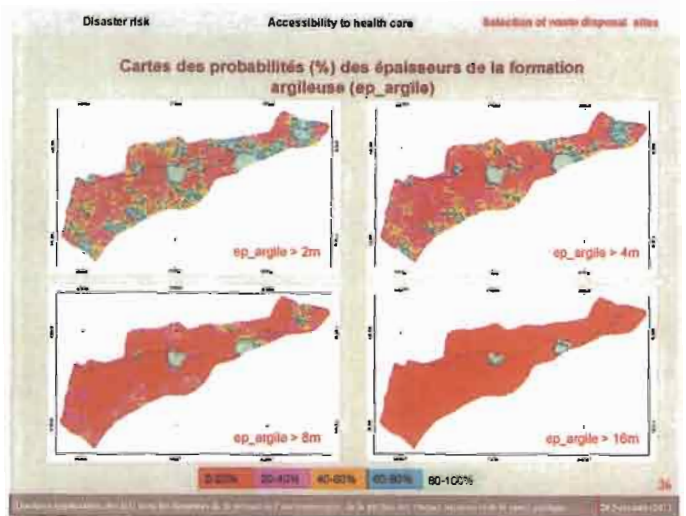
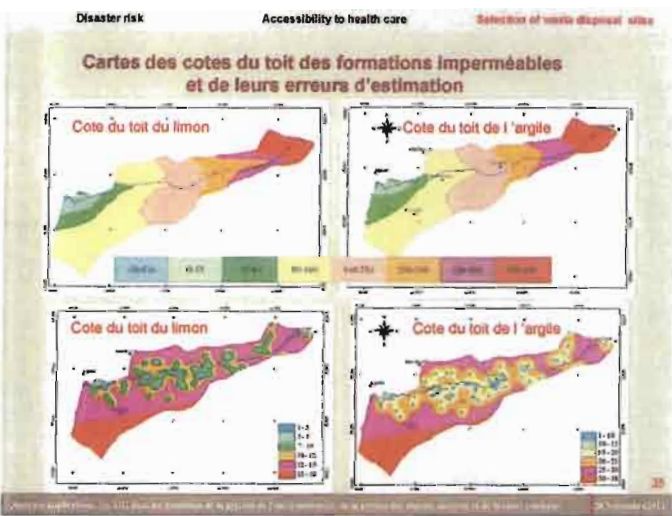
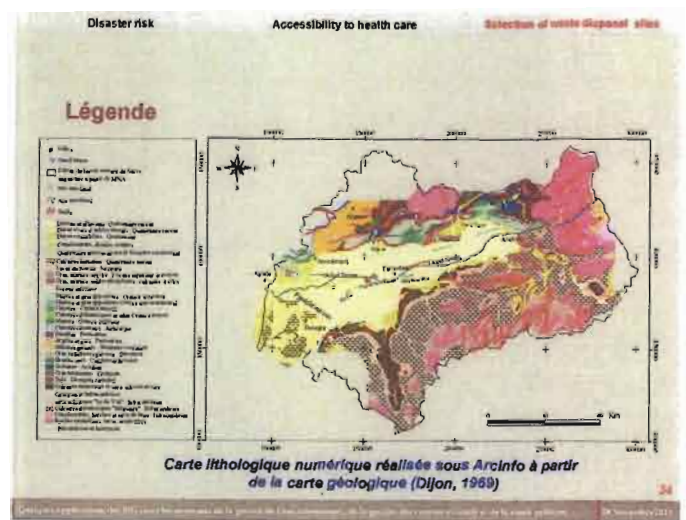
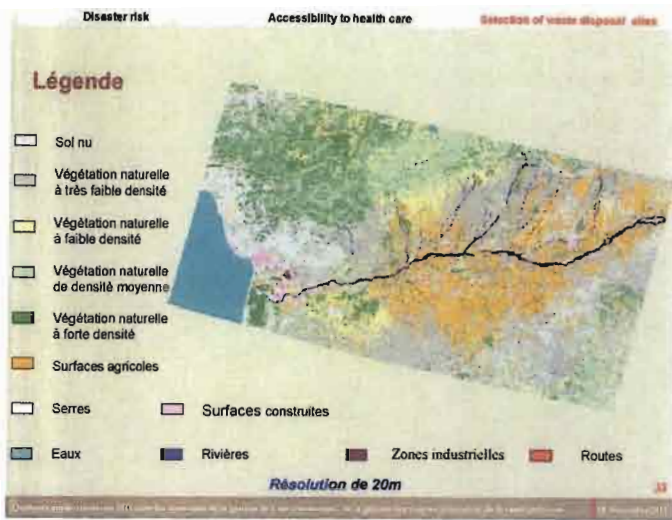
- ♦ concevoir des données numériques spatiales et temporelles en utilisant des techniques variées (SIRS, télédétection, approches déterministes et probabilistes, régression multiple et l'ACP).
- ♦ appliquer les plans d'information du SIRSS à la sélection des meilleures installations pour le stockage des déchets ménagers et industriels, sur l'ensemble du bassin en utilisant le SIRS et les méthodes d'analyse multicritères.

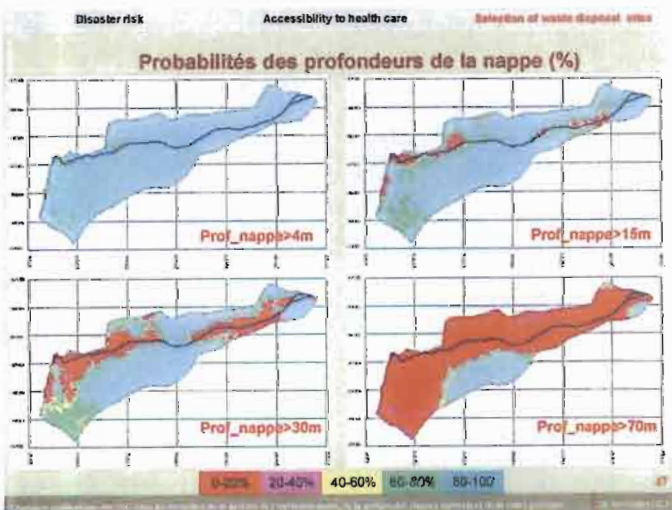
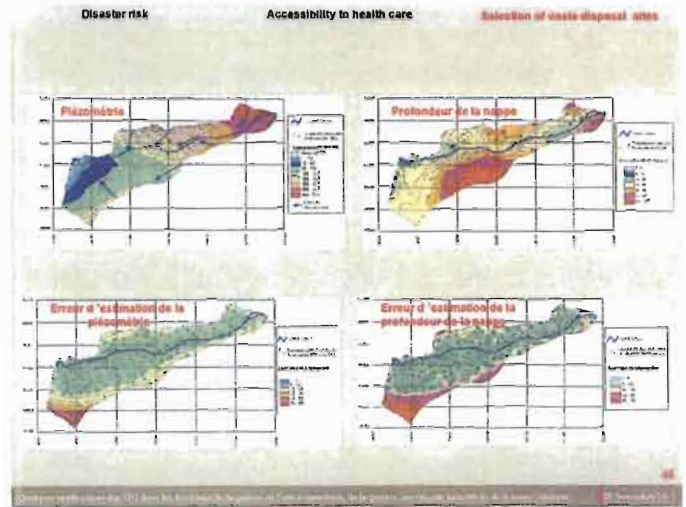
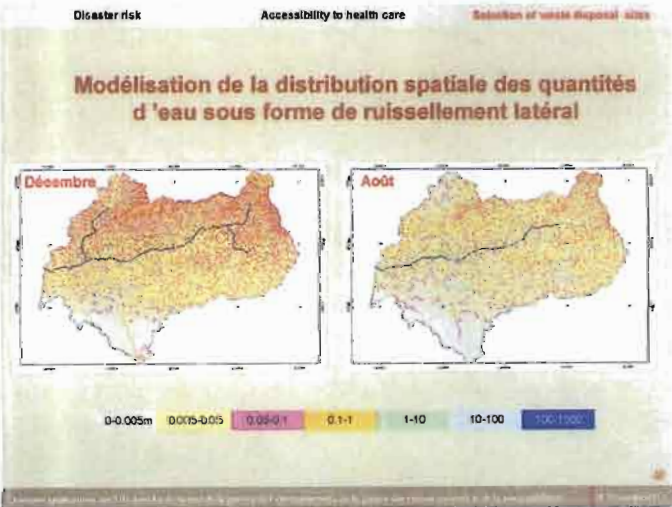
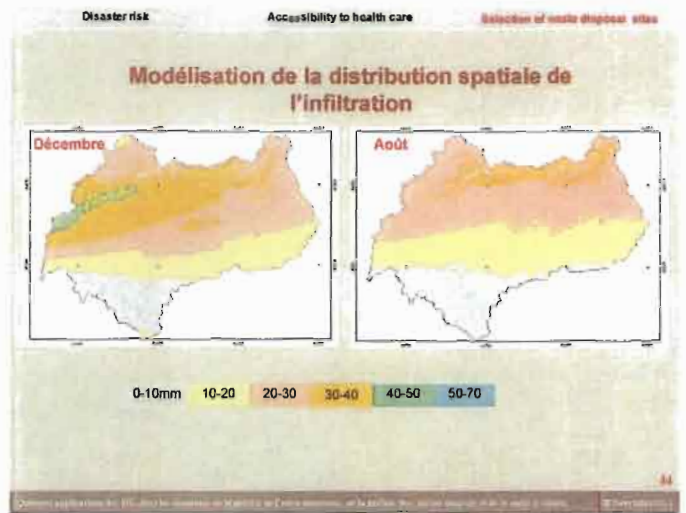
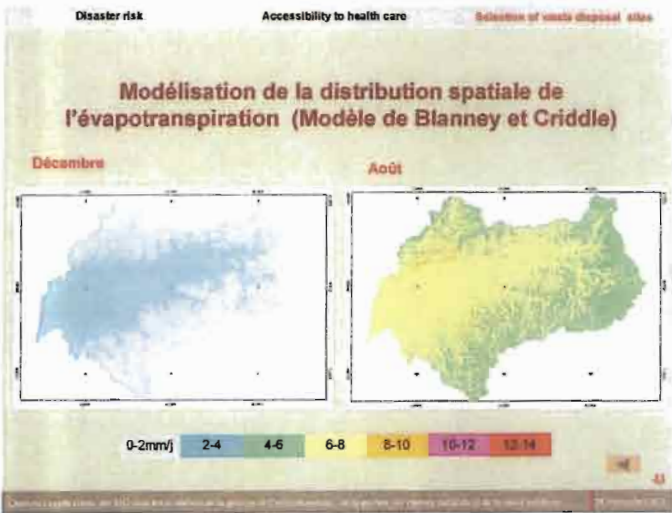
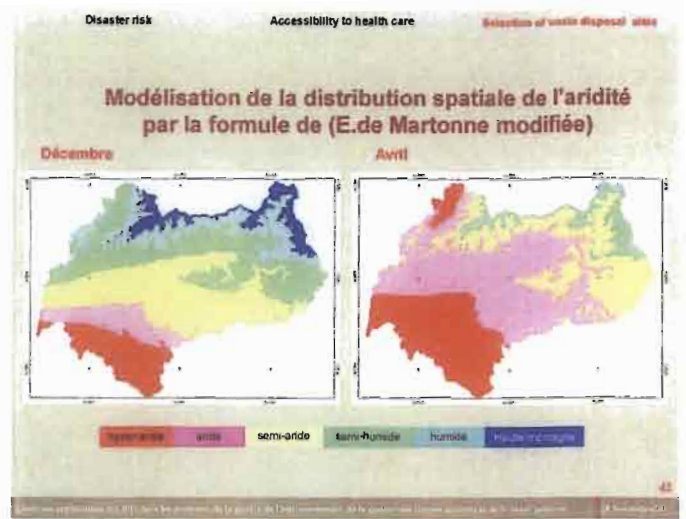
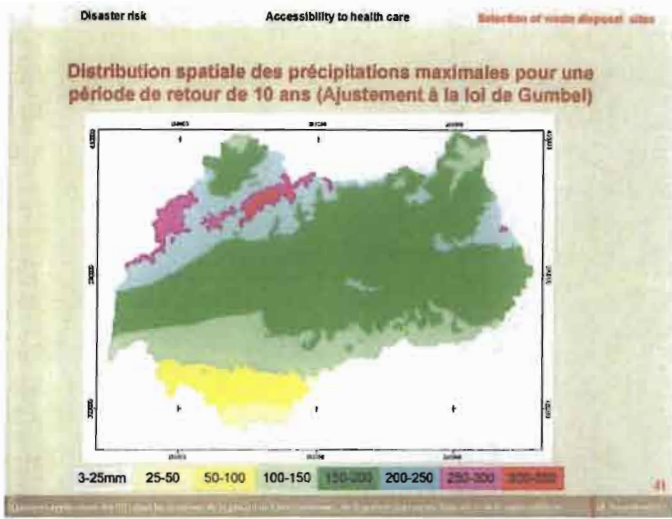


Disaster risk Accessibility to health care Selection of waste disposal sites

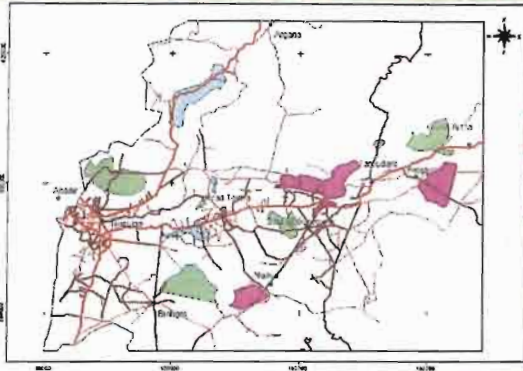
- ♦ Données juridiques et réglementaires
- ♦ La topographie
- ♦ L'occupation du sol
- ♦ La lithologie
- ♦ La pédologie
- ♦ La population
- ♦ L'hydro-climatologie
- ♦ L'hydrogéologie







Classement des 12 sites par l'algorithme d 'ELECTRE pour le stockage des déchets industriels



- 1 Approprié
- 2 Moyennement approprié
- 3 Inapproprié

Utilisation des Eaux usées Urbaines en Irrigation



Dr Mariam SOU

Prof. A. Mermoud Dr. H. Yacouba

Agriculture urbaine

Ouagadougou (Burkina Faso)



Valorisation des composés fertilisants

Impacts sanitaires

Impacts environnementaux
Sels dissous Qualité du sol

STEP de Ouagadougou (Kossodo) **Irrigation manuelle**

Capacité: 3400 m³ / 74% - eaux de brasserie

Site de d'étude

2006-2007 : étude exploratoire 2007-2008 : étude approfondie qualité du sol

Parcelles sous culture d'aubergine

U3	U2	T1	ET
T3	T2	U1	EUT



Mycoécologie

Propriétés chimiques des eaux d'irrigation (SAR et ARC) Eaux usées traitées
Eau témoin (réseau)

Irrigation

Parcelles EUT et ET + sol non irrigués

•Surface -10 & 20 cm

U3	U2	T1	ET
T3	T2	U1	EUT

Parcelle Eaux Usées Traitées (EUT)

pH alcalin
Croissance ralentie
Brûture des feuilles d'aubergine

Taches noires : HYPOTHÈSES

Campagne 2007-2008

Parcelle Eau témoin (ET)

Alcalinisante (ARC > 0) 1 mois hydrique (SAR élevée)

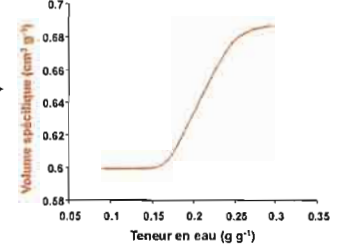
pH proche de 7 Augmentation pH sol
Dissolution de la MO ↓
Bonne croissance Taches noires en surface

Saturant du complexe d'échange Détermination de la structure de



Photo. P. Boivin

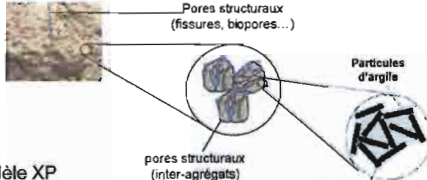
Courbe de retrait expérimentale



Modélisation du retrait Braudeau (1987) Braudeau (1988) a, b, c Boivin (2006)



ECHANTILLON NON REMANIÉ POROSITÉ STRUCTURALE POROSITÉ PLASMIQUE



Modèle XP

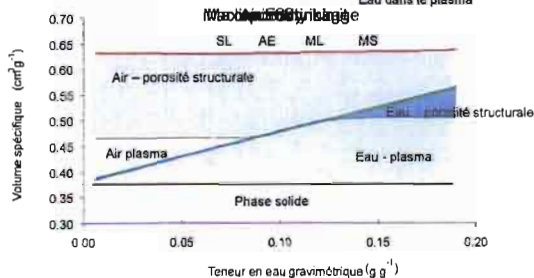
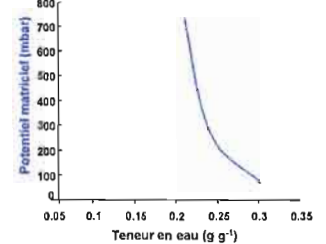


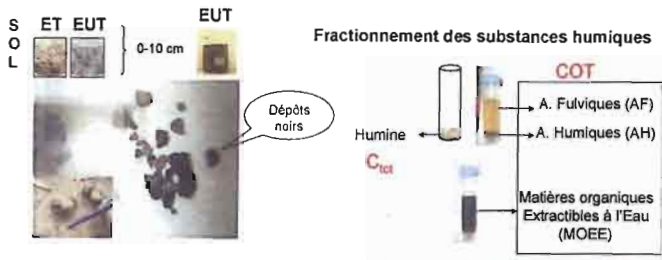
Photo P. Boivin

Courbes expérimentales

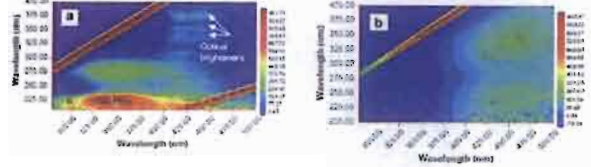


Spectre de macroporosité (loi de Jurin)

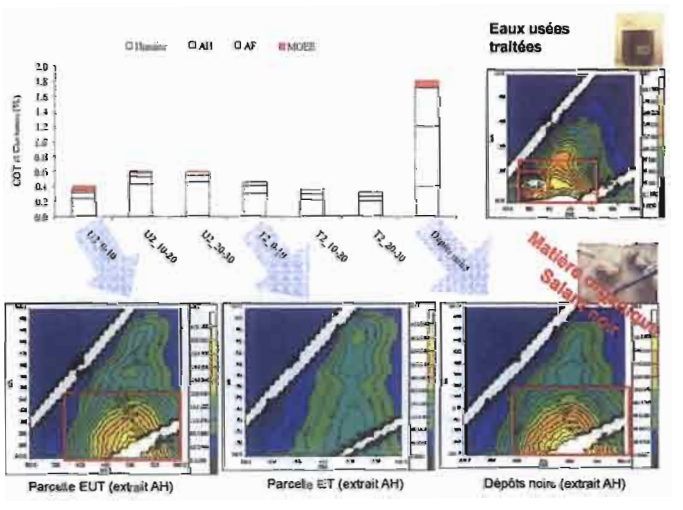
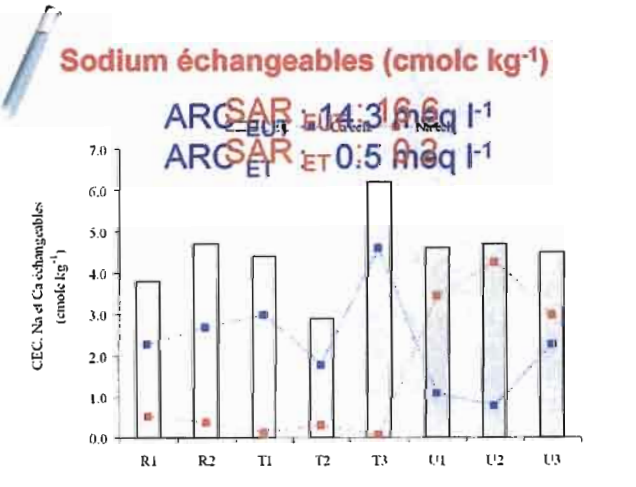
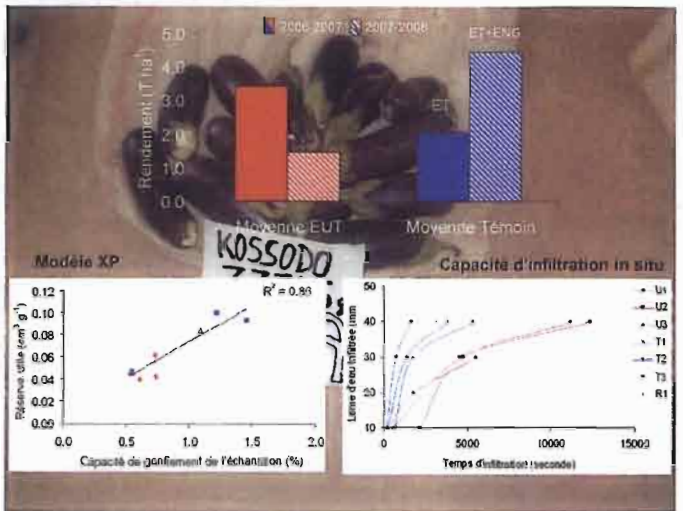
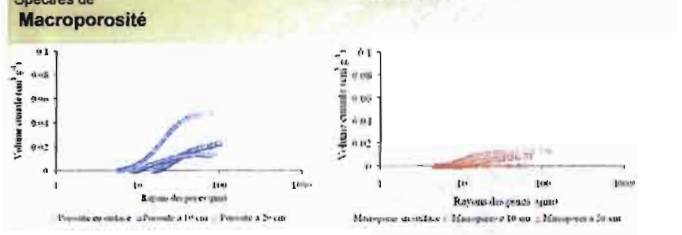
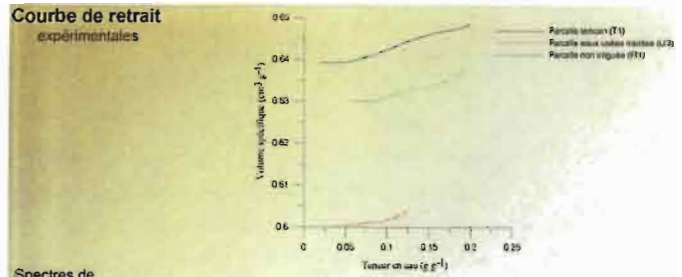
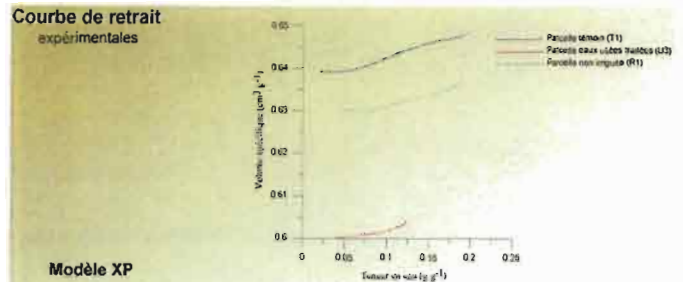




Caractérisation de la matière organique : empreinte spectrale (fluorescence UV/VIS)



Eaux usées non traitées Henderson et al. (2009)



Matière organique dissoute/évaporée

Dissol. Alcalinisation du sol

Dispersion des argiles et lessivage

Hydratation



Deux années d'irrigation

SAU

Merci

Détérioration de votre attention!

quasi irréversible!

TROP TARD!

LE SOL EST MORT.

ferri

Le séminaire en photos

The Seminar in photos





Ouverture du séminaire - Opening of the Seminar.



La présentation du programme, de l'objectif et les attentes du séminaire.
Presentation of the program, its objectives, and the seminar attendees.



Pédologie Hydrostructurale : théorie et concepts
Hydrostructural Pedology : Theory & Concepts.



Vue des participants
View of the participants



Présentation du QEERI
QEERI's presentation

Présentations des conférenciers et des participants.

Presentations by speakers and participants.



**Visite du Laboratoire de caractérisation hydrostructurale des sols
Direction des Sols.**

**A Visit to the Laboratory for Hydrostructural Characterization of Soil.
Soil Directorate.**



Sortie de terrain dans la Basse Vallée de la Mejerda – Exemple d'Aménagement, Gestion et Suivi d'un périmètre irrigué affecté par la salinité et l'hydromorphie (Périmètre Cebala) : relation laboratoire - terrain pour la modélisation et la gestion des systèmes irrigués (expérimentation, instruments de mesure et suivi des eaux et des sols).

Field trip to the Lower Valley of Mejerda – Example of Planning, Management, and Monitoring of an irrigated area affected by salinity and waterlogging (Perimeter of Cebala): relationship between the laboratory and field for modeling and management of irrigated systems (testing, measuring and monitoring water and soil)



Modèle sol-structure-eau Kamel® : principe et cadre d'utilisation, initiation au modèle Kamel® .

**Kamel Soil-Structure-Water Model : Principles and Framework for Use;
Introduction to the Kamel® Model.**



PEDOLOGIE HYDROSTRUCTURALE

La pédologie hydrostructurale est une nouvelle discipline en sciences de la terre qui se distingue de l'hydro-pédologie par son domaine d'étude : l'intérieur du sol, milieu physique organisé en plusieurs niveaux fonctionnels emboîtés et la répartition spatiale de ces organisations. La pédologie hydrostructurale se situe donc aux frontières internes de l'hydro-pédologie dont l'investigation ne concerne que l'organisation de surface du milieu naturel (sols et eaux de surface), l'intérieur du sol étant réduit à une boîte noire dans les équations de transferts. La pédologie hydrostructurale complète au contraire la pédologie classique en dotant celle-ci d'une physique (thermodynamique et hydrodynamique) du milieu sol à ses différents niveaux d'organisation : les peds primaires, la pédostructure, l'horizon de sol et le pédon représentatif de l'unité cartographique primaire de sol.

HYDROSTRUCTURAL PEDOLOGY

Hydrostructural pedology is a new scientific discipline in earth sciences that is different from hydro-pedology through its domain of study : the soil medium, which is physically organized into several functional, nested levels, and the spatial distribution of this organization. Hydrostructural pedology hence explores the internal borders of hydro-pedology, which focuses exclusively on organization at the surface of the natural environment (soil and water surface), and in which the soil interior is reduced to a black box in transfer equations. Hydrostructural pedology complements in the opposite of the classic pedology in giving this a physic (thermodynamic and hydrodynamic) of the soil medium and its different levels of organization : primary peds, the pedostructure, the soil horizon and the representative pedon of the primary soil mapping unit.