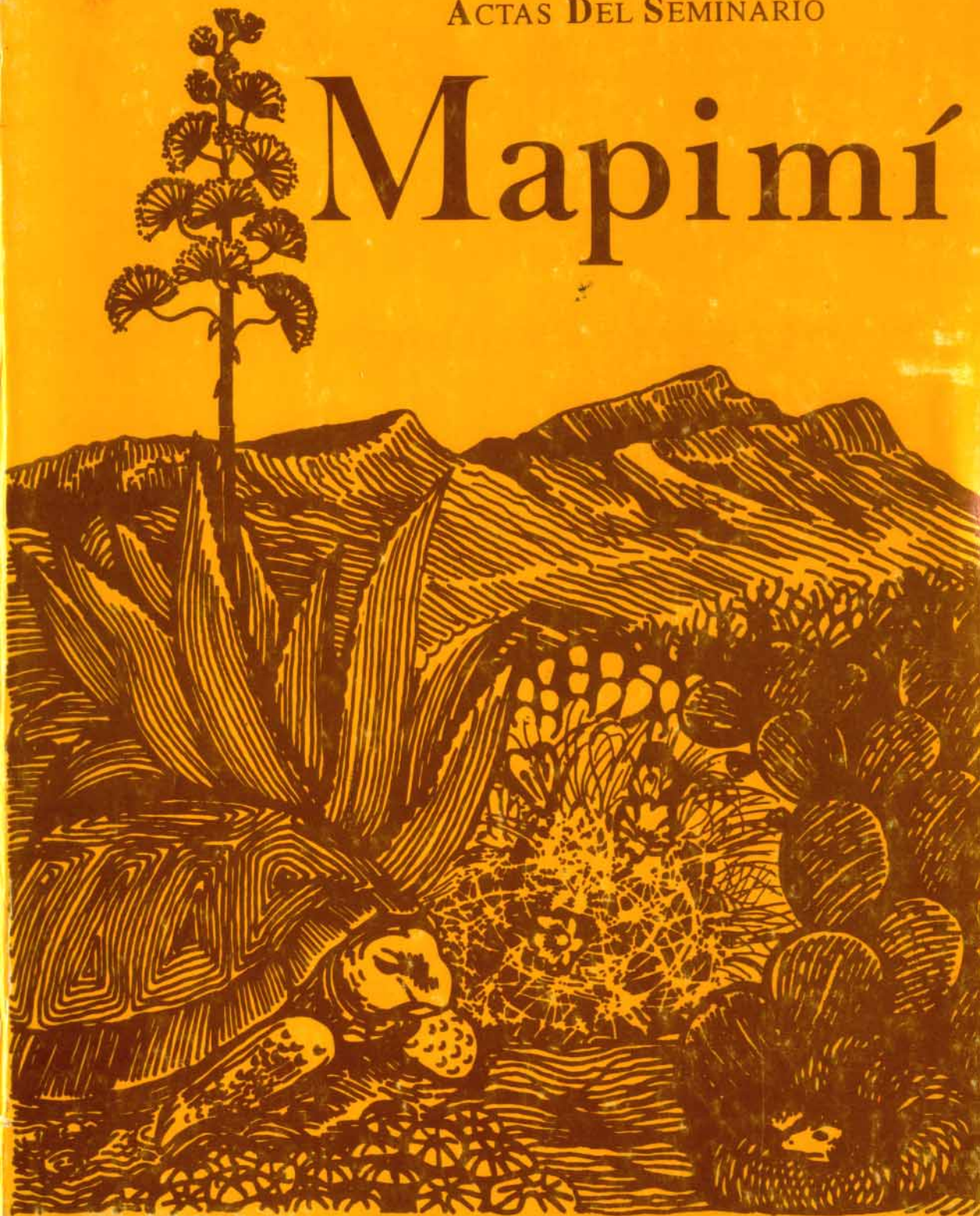


ACTAS DEL SEMINARIO

Mapimí



**ACTAS DEL SEMINARIO MAPIMI:
ESTUDIO DE LAS RELACIONES AGUA-SUELO-VEGETACION EN
UNA ZONA ARIDA DEL NORTE DE MEXICO ORIENTADO A LA
UTILIZACION RACIONAL DE ESTOS RECURSOS PARA LA
GANADERIA EXTENSIVA DE BOVINOS**

**ACTES DU SEMINAIRE MAPIMI:
ETUDE DES RELATIONS EAU-SOL-VEGETATION DANS UNE
ZONE ARIDE DU NORD DU MEXIQUE ORIENTEE VERS
L'UTILISATION RATIONNELLE DES CES RESSOURCES POUR
L'ELEVAGE BOVIN EXTENSIF**

**JEAN PIERRE DELHOUME Y MARIA EUGENIA MAURY
EDITORES**

**ACTAS DEL SEMINARIO MAPIMI
ESTUDIO DE LAS RELACIONES AGUA-SUELO-VEGETACION
EN UNA ZONA ARIDA DEL NORTE DE MEXICO
ORIENTADO A LA UTILIZACION RACIONAL
DE ESTOS RECURSOS
PARA LA GANADERIA EXTENSIVA DE BOVINOS**

**ACTES DU SEMINAIRE MAPIMI
ETUDE DES RELATIONS EAU-SOL-VEGETATION
DANS UNE ZONE ARIDE DU NORD DU MEXIQUE
ORIENTEE VERS L'UTILISATION RATIONNELLE
DES CES RESSOURCES
POUR L'ELEVAGE BOVIN EXTENSIF**

GOMEZ-PALACIO, DURANGO, MEXICO, 23-29 DE OCTUBRE DE 1989

**Instituto de Ecología, A.C.
Institut Francais de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM)
Centro de Estudios Mexicanos y Centro Americanos
México, D.F.**

1992

Este seminario sobre invitación fue llevado a cabo por el Instituto de Ecología y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), contando con el apoyo financiero del Departamento de Apoyo a la Difusión de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la Secretaría de Educación Pública, de la Dirección de Desarrollo Científico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Ref. A 128 CCOE 890267 B1-5) y de la Comunidad Económica Europea (contrato n° CII * - 0007 MEX(A)).

Ce séminaire, sur invitation, a été organisé par l'Institut d'Ecologie du Mexique et par l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), avec le concours financier du Département d'Appui à la Diffusion de la Direction Générale de Recherche Scientifique du Secrétariat d'Education Publique du Mexique, de la Direction du Développement Scientifique du Conseil National de la Science et de la Technologie du Mexique (Réf. A 128 CCOE 890267 B1-5) et de la Communauté Economique Européenne (contrat n° CII * - 0007 MEX(A)).

Primera edición, 1992

D.R. © Instituto de Ecología, A.C.
Apartado Postal 63
Xalapa, Ver.
91000 México

Impreso y hecho en México

Publicado por el Instituto de Ecología, A.C. y el Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM) y el Centro de Estudios Mexicanos y Centro Americanos

ISBN: 968-7213-29-9

Trabajo editorial Ma. Eugenia Ramírez López

LISTA DE AUTORES - LISTE DES AUTEURS

- Aguirre G.** Instituto de Ecología, Unidad Durango, México.
- Asseline J.** ORSTOM, Instituto de Ecología, México.
- Audry P.** ORSTOM-CNPq, Récife, PE, Brasil.
- Barral H.** ORSTOM-Instituto de Ecología, México.
- Besnard G.** France.
- Collinet J.** ORSTOM-CATIE, Costa Rica.
- Cornet A.** ORSTOM, Montpellier, France.
- Delhoume J.P.** ORSTOM, Instituto de Ecología, México.
- Duncan P.** Station biologique de la Tour du Valat, Le Sambuc. 13200, Arles, France.
- Flores Lui** INIFAP-SARH, Gómez-Palacio, Durango, México.
- Floret C.** CEPE-CNRS, BP 5051, 34033, Montpellier-Cédex. France.
- González-Barrios J.L.** Yucatán 135, Gómez-Palacio, Durango, 35090, México.
- Grouzis M.** Laboratoire d'Ecologie Végétale, ORSTOM, BP 1386, Dakar, Sénégal.
- Halffter G.** Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz.
- Hernández L.** Instituto de Ecología, Unidad Durango.
- Janeau J.L.** ORSTOM, Instituto de Ecología, Unidad Durango.
- Job J.O.** ORSTOM, Tunis, Tunisie.
- Kaus A.** Universidad de California, Riverside Estados Unidos.
- Leprun J.C.** ORSTOM, CP. 665, 70359, Brasilia, D.F., Brasil.
- Le Floc'h E.** CEPE-CNRS, BP 5051, 34033, Montpellier-Cédex. France.
- Loyer J.Y.** ORSTOM-INIFAP, Gomez-Palacio, Dgo, México.
- Maury M.E.** Instituto de Ecología, Unidad Durango, México.

Mayagoitia Domínguez H.
Molinier M.
Osorio-Barahona R.

Pontanier R.
Poss R.

Portais M.
Ruiz de Esparza R.
Saragoni H.
Souissi A.

Viramontes Pereida D.

Senado de la República, México.
ORSTOM-UFPE, Récife, PE, Brasil.
Facultad de Ciencias, Universidad de la
Serena, Chile.
ORSTOM, Tunis, Tunisie.
Antenne ORSTOM Cadarache, DB/SRA,
CEN Cadarache, 13018, St-Paul-Lès-
Durance, France.
ORSTOM, México.
Instituto de Ecología, Unidad Durango.
IRAT/DRA, BP 1163, Lomé, Togo.
Direction des Sols, Ministère de
l'Agriculture, Tunis, Tunisie.
Instituto de Ecología, Unidad Durango.

CONTENIDO-SOMMAIRE

PROLOGO PROLOGUE•

ECOLOGIA Y DESARROLLO TECNOLOGICO Héctor Mayagoitia Domínguez	13
--	----

INTRODUCCION INTRODUCTION

PAPEL DE LA RESERVA DE MAPIMI EN EL DESARROLLO DE LA GANADERIA EN EL NORTE DE MEXICO Gonzalo Halffter	23
---	----

MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES Y NOCION DE ESPACIO. LA COOPERACION ENTRE EL INSTITUTO DE ECOLOGIA Y EL ORSTOM Michel Portais	31
---	----

PROBLEMÁTICA DE LAS ZONAS ARIDAS DEL NORTE DE MEXICO PROBLEMATIQUE DES ZONES ARIDES DU NORD DU MEXIQUE

PROBLEMÁTICA DE LAS ZONAS ARIDAS EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE Luis Fernando Flores Lui	41
---	----

PROBLEMATIQUE SCIENTIFIQUE DU PROJET MAPIMI Jean Pierre Delhoume	45
---	----

LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMI LA RESERVE DE LA BIOSPHERE DE MAPIMI

LE MILIEU PHYSIQUE Jean Pierre Delhoume	53
--	----

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES Antoine Cornet	57
--	----

EL MEDIO VEGETAL María Eugenia Maury	65
ESTUDIOS FAUNISTICOS Gustavo Aguirre - María Eugenia Maury	71
EL CAMPO Y LAS COMUNIDADES RURALES Andrea Kaus	81
PROYECTO MAPIMI: RESULTADOS E INTERPRETACIONES PROJET MAPIMI: RESULTATS ET INTERPRETATIONS	
<i>I. RECURSOS AGUA Y SUELO</i> <i>I. RESSOURCES EAU ET SOL</i>	
METODOS Y TECNICAS EMPLEADAS PARA LOS ESTUDIOS HIDROEDAFOLOGICOS Jean Asseline	89
CARACTERISATION DU PARAMETRE PLUIE : DISTRIBUTION DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE Jean Pierre Delhoume	111
COMPARAISON DES DONNES PLUVIOMETRIQUES OBTENUES A L'AIDE DE DEUX TYPES DE PLUVIOMETRES Jean Asseline	127
ETUDE PRELIMINAIRE DE LA VARIABILITE SPATIALE DU STOCK D'EAU DU SOL DANS L'OPTIQUE DE LA DETERMINATION DU BILAN HYDRIQUE PARCELLAIRE Jean Pierre Delhoume	131
REDISTRIBUTION ESPACIAL DEL AGUA EN EL PAISAJE, ESCURRIMIENTO Y EROSION HIDRICA A TRAVES DE UNA TOPOSECUENCIA David Viramontes Pereida	143
CARTOGRAPHIE DES ETATS DE SURFACE D'UNE TOPOSEQUENCE REPRESENTATIVE DU BASSIN VERSANT DE SAN IGNACIO Jean Louis Janeau - Rosario Ruiz de Esparza Villarreal	161
FONCTIONNEMENT ET DYNAMIQUE DE DEUX ECOSYSTEMES CARACTERISTIQUES Jean Pierre Delhoume	177

CARACTERISTICAS DE LA SALINIDAD EDAFICA EN LA PARTE BAJA
DE UNA CUENCA ENDORREICA

José Luis González Barrios 201

II. RECURSOS VEGETACION
II. RESSOURCES VEGETATION

INVENTARIO Y ESPECTRO BIOLOGICO DE LAS PLANTAS
VASCULARES

Rosario Ruiz de Esparza Villarreal 221

CONTRIBUTION DES DONNEES SATELLITE SPOT A LA
TYPOLOGIE ET A LA CLASSIFICATION DES FORMATIONS
VEGETALES D'INTERET FOURRAGER DANS LA ZONE NORD ARIDE
DU MEXIQUE

Antoine Cornet 235

ECOFISIOLOGIA DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE INTERES
FORRAJERO

Gilles Besnard 247

III. UTILIZACION DE LOS RECURSOS : ECOPASTORALISMO
III. UTILISATION DES RESSOURCES : ECOPASTORALISME

RESEÑA DEL POBLAMIENTO Y DE LA GANADERIA EN EL BOLSON
DE MAPIMI

Henri Barral - Lucina Hernández 257

ESTUDIOS DE CASOS EN OTRAS ZONAS ARIDAS Y SEMI-ARIDAS
DE AFRICA Y AMERICA

ETUDES DE CAS DANS D'AUTRES ZONES ARIDES ET SEMI-
ARIDES D'AFRIQUE ET D'AMERIQUE

OPTIMISATION DE L'UTILISATION DE L'EAU EN ZONE ARIDE
MEDITERRANEENNE

Christian Floret - Roger Pontanier - Ahmed Souissi 273

ECOLOGIE COMPAREE DE DEUX REGIONES SEMI-ARIDES : LE
NORDESTE DU BRESIL ET LE SAHEL AFRICAIN

Jean Claude Leprun 285

DYNAMIQUE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES SAHELIENS, LE CAS DE LA MARE D'OURSI (BURKINA-FASO)

Michel Grouzis 295

MODELISATION DE L'ECOULEMENT ET DE L'INFILTRATION D'UN SOL BRUN DU NORDESTE SEMI-ARIDE DU BRESIL

Michel Molinier - Pierre Audry - Jean Claude Leprun 313

ORGANIZACIONES SUPERFICIALES E INTERACCIONES DE LAS CONDUCTIVIDADES HIDRAULICAS EN SUELOS DE ZONAS ARIDAS Y SEMIHUMEDAS

Jean Collinet 331

UTILISATION DE LA MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE POUR DETERMINER LES DATES DE SEMIS ET EFFECTUER UN ZONAGE AGROCLIMATIQUE (TOGO MERIDIONAL)

Roland Poss - H. Saragoni 339

LES PRINCIPAUX FACIES SALINS ET LEUR EXPRESSION DANS LES SOLS DES REGIONS CHAUDES

Jean Yves Loyer - José Luis González Barrios - Jean Olivier Job 347

INFLUENCE DU NIVEAU DE LA PRESSION PASTORALE SUR LA CONSOMMATION DE DEUX ESPECES ARBUSTIVES DE LA REGION ARIDE DU CHILI (CONSEQUENCES SUR LA GESTION PASTORALE)

Edouard Le Floc'h - R. Osorio-Barahona 363

L'ECOLOGIE ET LE COMPORTEMENT DES EQUINS ET DES BOVINS BRONCO

Patrick Duncan 371

CONCLUSIONES
CONCLUSIONS

RECOMENDACIONES GENERALES 391

RECOMENDACIONES ESPECIFICAS 392

RECOMMANDATIONS GENERALES 394

RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES 395

PROLOGO

PROLOGUE

ECOLOGIA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Hace muchos años, Aldo Leopold señalaba: "abusamos de la tierra porque creemos que es un bien que nos pertenece, cuando consideremos a la tierra como una comunidad a la que pertenecemos, empezaremos entonces a usarla con amor y respeto".

Lamentablemente, no es posible soslayar el hecho de que el equilibrio entre la naturaleza y el hombre se altera constantemente a tal grado que nos amenaza una verdadera crisis mundial como resultado del deterioro ambiental, el exceso de población y el hambre.

Además de perderse, cada año, seis millones de hectáreas de suelo, la deforestación es uno de los procesos de deterioro más connotados, ya que se tiene conocimiento de que cada año se destruyen en el mundo más de 10 millones de hectáreas de bosque, ya sea para colonizar, por propósitos madereros y de obtención de leña y carbón o para propósitos de cultivo en un inútil afán de ampliar la frontera agrícola sobre suelos pobres sin vocación agrícola, además de incendios forestales que destruyen la población microbiológica, fuente de vida y esperanza para la recuperación del ecosistema original.

Lamentablemente más de la mitad de las áreas que se deforestan corresponden a bosques de latifoliadas y coníferas, por lo que solamente durante los últimos 30 años, se han deforestado 200 millones de hectáreas en Latinoamérica y El Caribe, perdiéndose la mayor parte del germoplasma tropical y ello nos acerca rápidamente a un desastre ecológico de magnitud mundial, pues cuatro quintas partes del material genético que se expresa en la variedad y riqueza de especies de plantas y animales, se encuentra en los trópicos; perdiéndose enormes recursos renovables madereros y fuentes importantes de productos químicos y alimenticios; además de causar la erosión masiva, la eutroficación de lagos y ríos, inundaciones y azolves de presas y desde luego, la destrucción de flora y fauna, al perder su hábitat natural.

Uno de los ejemplos más comentados por su magnitud y fracaso, es el proyecto para integrar la vasta región amazónica (la mayor y más importante reserva mundial) al desarrollo de Brasil. Afortunadamente, para bien de las siguientes generaciones de brasileños y de la humanidad en

general, el presidente José Sarney está proponiendo nuevas leyes que incluyen prohibiciones sobre el desmonte para la agricultura y la ganadería y medidas para disminuir los enormes incendios forestales.

No menos graves han sido los resultados de la ganadería extensiva en los bosques tropicales de Centroamérica y el Sureste de México, con la intención (no siempre fructífera en forma sostenida), de producir, a veces para exportar, carne barata a países con alta demanda, beneficiando sólo a pequeños núcleos sociales, a cambio del deterioro del medio y la pérdida de la riqueza que representa la selva.

Pero también hay deterioro del suelo, cuando se utiliza para finalidades ajenas a su vocación, como es el caso de tratar de cultivar granos en los pastizales de las zonas áridas y semiáridas o al no respetar los índices de agostadero, ya que con el sobrepastoreo estamos convirtiendo pastizales en eriales.

Frecuentemente no le damos mayor importancia a estas fuentes del ecocidio silencioso y sólo nos preocupa la contaminación urbana originada por la generación abundante de desechos municipales e industriales que se acumulan en suelo, agua y aire.

Así es como los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), por la emisión de 5,000 millones de toneladas anuales de dióxido de carbono, son los causantes directos del "efecto de invernadero" que no sólo produce un bochornoso malestar, sino que poco a poco va aumentando la temperatura de la superficie terrestre con el riesgo de que para mediados del próximo siglo, llegue a haber un diferencial de hasta 6 °C y con ello se provoque el derretimiento parcial de los casquetes polares, causando inundaciones en los litorales continentales.

Igualmente perjudiciales son los óxidos de nitrógeno y de azufre que emiten las plantas productoras de energía, los vehículos de motor, las fábricas y otras instalaciones que utilizan combustibles fósiles para extraer su energía, dando lugar no sólo a la producción concentrada del perjudicial ozono, sino causando además la "lluvia ácida" al combinarse los 50 millones de toneladas de anhídrido sulfúrico y los 20 millones de toneladas de anhídridos de nitrógeno con el agua de la atmósfera y regresar a la tierra como ácido sulfúrico y ácido nítrico, donde afecta la salud del hombre y de los animales, además de a los árboles y plantas en general entorpeciendo la germinación, la fotosíntesis y la fijación y transformación del nitrógeno.

Otros contaminantes importantes son los hidrocarburos no quemados, el monóxido de carbono, los fosfatos, el mercurio, el plomo, los plaguicidas y la radiación en dosis no permisibles.

Todo ello ha dado lugar a que cada vez con mayor intensidad se presenten denuncias por distintos problemas ambientales y que los medios masivos de comunicación los difundan diariamente, hasta lograr que los términos medio ambiente y ecología se hayan incorporado a la cultura popular, aunque a veces distorsionados por ideas políticas o pretensiones de apropiación ideológica.

Como consecuencia positiva de la preocupación por la preservación del medio ambiente, se establece formalmente la política de proteger áreas o recursos naturales, como las que tuvieron lugar desde 300 años A. C. En que en la antigua India se aislaron zonas boscosas con el fin de proteger la fauna silvestre o las medidas que en la edad media se tomaron para proteger a los bosques y su fauna contra la invasión del hombre.

Actualmente, en el mundo ya llegan a 3500 las áreas protegidas de las que 270 corresponden a reservas de la biósfera establecidas en 70 países, con una preocupación especial por el hombre que habita las regiones bajo control para que disfrute de los logros de la investigación y de la educación.

Aunque México está clasificado como uno de los países más atrasados en términos de la conservación de sus recursos bióticos, la nueva Ley de Equilibrio Ecológico y Conservación del Medio Ambiente establece una estrategia apropiada de conservación que se ocupa de los ritmos y tendencias de transformación de los recursos naturales, además de las políticas para la creación de un "Diseño Mexicano" (así lo ha calificado la UNESCO) de conservación, que incluye aspectos de concientización de los problemas generados por el uso de los recursos naturales, especialmente a través del establecimiento de áreas protegidas, modernamente de reservas de la biósfera donde actualmente se protegen más de 4 de las casi 5 millones de hectáreas protegidas en México, con la participación activa y consciente de las comunidades que protegen estas áreas para el bien de sus familias y de la humanidad. Casos destacados, por su extensión y trascendencia, son las reservas de la biósfera de Mapimí y La Michilía (las dos primeras en Latinoamérica) fundadas por el Gobierno del Estado de Durango, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Instituto de Ecología.

A pesar de que en los últimos años se ha popularizado el término ecología, a veces su uso, abuso y mal uso ha propiciado confusión entre los habitantes. Por ello, es imprescindible crear una política seria de divulgación y concientización de la problemática que el uso de los recursos naturales conlleva.

Insistimos en que cuando se habla de crisis ecológica, lo más común es pensar solamente en la contaminación ambiental, que con ser importantes sólo es una parte del deterioro ambiental. Se olvida que el hombre como biota que le da sentido y uso a los recursos naturales, si pierde el sentido de lo que debe hacerse con ellos, será un factor que acelere su deterioro.

La educación es el medio más importante para orientar la mentalidad del hombre, no sólo a lo que son los recursos, sino, lo que es más importante, a la forma de su proceder para con los mismos.

Precisamente, el desarrollo dentro de un marco ecológico (*Ecodesarrollo*) busca armonizar los objetivos económicos y sociales con una administración sana y racional de los ecosistemas.

Aunque se reconoce que son muchas las medidas que en los últimos años se han estado aplicando para disminuir el deterioro del medio ambiente y para evitar, al máximo, la contaminación del aire, agua y suelo, todavía son muchos los aspectos que debemos reforzar para heredar a nuestros hijos un México mejor.

Para atender esta problemática, se promulgó recientemente (enero de 1988) la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. En su texto se pueden encontrar todas las definiciones, criterios y normas reguladoras para reducir el deterioro, inclusive a través de la restauración de la flora y fauna de las zonas de México, o sea su ordenamiento ecológico. Asimismo, contiene todas las disposiciones relativas para normar las operaciones industriales, las de transporte y otros servicios, las de vivienda y uso domésticos y, en general, de todos los procesos con base tecnológica que exige la vida moderna en toda gran ciudad.

Complementariamente, el Presidente de la República, Carlos Salinas de Gortari, ha señalado los siguientes lineamientos de ecología:

1. Poner un energético alto al deterioro del medio ambiente.
2. Incorporar el punto de vista ecológico a todas las actividades.

3. Proteger el entorno, revirtiendo los procesos ecocidas originados por la industrialización y la urbanización.

4. Integrar una agenda mínima de prioridades ecológicas que contenga el cuidado del agua, de los bosques, del medio urbano y de la educación ambiental.

5. Establecer un equilibrio entre desarrollo y protección ecológica.

6. Fundamentar las acciones a desarrollar en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Es normal tipificar al desarrollo tecnológico con base en sus aplicaciones a la producción industrial, la generación de servicios (particularmente el transporte), las operaciones de la vida doméstica y por supuesto, los efectos resultantes de todo el trabajo moderno, consumidor de grandes cantidades de energéticos y generador también de grandes cantidades de desperdicios cada vez con mayor intensidad.

Sin embargo, en su acepción más amplia, el desarrollo tecnológico, con base en los adelantos científicos, la investigación aplicada y las innovaciones y descubrimientos de la técnica moderna, representa muchísimo más que lo que podrían configurar las imágenes diarias que contempla el habitante de México. El desarrollo tecnológico tiene en su crédito el incremento y perfeccionamiento de todos los equipos, artefactos, maquinarias y aparatos que conforman las comodidades y conveniencias del hombre moderno. Es decir, si bien las tecnologías de actualidad pueden conllevar riesgos para la vida o la salud y que, cuando no son aplicadas conforme a las normas ecológicas, se distinguen por los altos grados de contaminación que generan, siempre son susceptibles de afinación hasta un grado óptimo, compatible con el bienestar del hombre. En otras palabras, el desarrollo tecnológico, como origen de la contaminación, puede incluir también todas las soluciones.

Por supuesto, las razones principales para no utilizar a fondo todo lo que se sabe sobre el desarrollo tecnológico industrial, agropecuario o de los servicios, así como prevenir que se conviertan en fuentes generadoras de contaminantes, son de orden económico-social. No se pueden instalar y operar solamente "industrias blancas" para obtener únicamente "productos limpios". Esto es factible por los propios adelantos de la ciencia y la tecnología. Es más, se tienen a la vista los numerosos ejemplos en la electrónica e industrias relacionadas cuyos niveles de contaminación son

mínimos. Sin embargo, si bien todo se podría producir con el mínimo grado de contaminación ambiental, se incrementaría considerablemente el costo de los productos de consumo diario, en particular, los alimentarios y los servicios para el transporte.

Por tanto se propone, en concordancia con los mejores adelantos científicos y técnicos, buscar siempre un equilibrio entre la alta tecnología, el desarrollo económico y la protección ambiental, puesto que los tres son parámetros de la calidad de vida que pretende el hombre de estos días. Algunos analistas designan a las operaciones para lograr este equilibrio como Ecodesarrollo. Sin embargo, no se requieren técnicas especiales, sino simplemente procurar al máximo avance para todas las áreas, las de la economía y las de la ecología, o sea, obtener una óptima relación beneficio/costo social. Ahora bien, los procesos para establecer este ajuste se pueden abordar precisamente con las mismas metodologías del desarrollo tecnológico, con tal de tener en cuenta el bienestar social y para la salud del hombre, sistemáticamente.

Hace una generación, para la localización de las plantas industriales se ponía énfasis en encontrar terrenos con amplio acceso a los mercados, con buenas vías de comunicación y sobre todo, con amplia disponibilidad de agua. Estos requerimientos siguen siendo válidos. Pero ahora cobra predominancia la localización en áreas que no perjudiquen a las conurbaciones y la obligación de devolver el "agua trabajada" en iguales condiciones a como se recibió, o realizar el reciclaje y la reducción de los químicos contaminantes antes de devolverla a las fuentes originales. Sólo así se reduciría aceptablemente el daño (de hecho, la destrucción) de la flora y fauna acuáticas que ya han producido las industrias. Pues bien: las acciones y equipos que se requieren para lograr ésto, son también indicadores netos de desarrollo tecnológico. Desarrollo tecnológico que engloba investigaciones y resoluciones de problemas mediante innovación o invenciones especiales, incluso en las disciplinas biológicas indispensables para la protección no sólo del hombre, sino de toda la biota de las regiones implicadas.

Prevenir la contaminación, erradicar la pobreza y dar alimento, salud y educación a una población en constante aumento, son problemas que la humanidad y la sociedad ven vinculados con la ecología y la economía.

Tiempo, paciencia, experiencia, entrenamiento y educación, nos guiarán por el camino del manejo adecuado del ecosistema, la sociedad tiene derecho a solicitar que se cumplan las promesas que sobre nuestro entorno

ecológico se han vertido, pero la solución debemos buscarla entre todos. Desde el punto de vista político, el desarrollo ecológico supone la paz y la colaboración entre los hombres; la paz y la colaboración entre el hombre y la naturaleza.

El destino del desarrollo del planeta está relacionado con la política, la ciencia y la economía, y estas convergen en la ecología como punto total de discusión y análisis y se convierte en el eje de desarrollo del cual deben partir los programas y los objetivos de los gobiernos durante la próxima década. Para así heredar a nuestros hijos, a los hijos de nuestros hijos y a las siguientes generaciones la riqueza de recursos naturales, renovables y no renovables que les corresponden y les pertenecen y no el mundo deteriorado que en forma acelerada continuamos destruyendo.

Concluimos reiterando que ecología y desarrollo tecnológico no sólo son compatibles, sino indispensablemente complementarios para garantizar el bienestar de la humanidad.

Héctor Mayagoitia Domínguez

INTRODUCCION

INTRODUCTION

PAPEL DE LA RESERVA DE MAPIMI EN EL DESARROLLO DE LA GANADERIA EN EL NORTE ARIDO DE MEXICO¹

Gonzalo Halffter

Mi intervención en este seminario binacional de evaluación del proyecto suelo-agua-vegetación-ganadería en el norte árido de México, me ofrece una excelente oportunidad para precisar varios puntos en relación con el propio proyecto y su situación dentro de las actividades del Instituto de Ecología, a saber :

1. ¿Por qué el Instituto de Ecología tiene un interés primordial en las reservas de la biosfera?
2. ¿Por qué dentro del programa de trabajo de una reserva, Mapimí, se ha incluido un proyecto de investigación claramente destinado al desarrollo regional?
3. ¿Cuál ha sido el aporte de la cooperación internacional, en este caso con Francia, concretamente con ORSTOM?
4. ¿Qué espera el Instituto de Ecología de este seminario de evaluación?

En relación a los primeros puntos ya existe una cierta historia. Se inicia en 1974 con la creación del Instituto de Ecología con un doble propósito hacer buena investigación en Ecología y ciencias afines, y contribuir a diseñar una política que haga compatible la conservación del germoplasma con un desarrollo a largo plazo.

¹ Conferencia pronunciada en la inauguración del Seminario.

Desde el principio nuestro Instituto ha estado estrechamente ligado al programa MAB de UNESCO. La interacción con el MAB ha sido útil y fructífera. Nos hemos inspirado en su concepción de la interacción hombre-naturaleza y, en reciprocidad hemos contribuido a consolidar el concepto de reserva de la biosfera, en forma tal que represente una alternativa acorde con las realidades de este último cuarto de siglo, en especial con la problemática de los países intertropicales en desarrollo. Con satisfacción podemos señalar que las experiencias y las ideas generadas en el Instituto de Ecología han contribuido mucho a que dentro del Plan de Acción para las Reservas de la Biosfera adoptado por UNESCO en 1986, se incluyan las necesidades y participación de las poblaciones locales, así como la investigación para el desarrollo.

De nosotros ha salido la idea de incorporar a cada reserva una institución de investigación que coordine las tareas científicas.

Las dos reservas de Durango, Mapimí y La Michilía (las dos primeras que se crean en México y en América Latina), fueron el laboratorio en que se pusieron a prueba los nuevos conceptos y donde se demostró que eran válidos y viables, ya que no sólo se obtenían los resultados planeados, sino que además la nueva perspectiva contribuía a la estabilidad y permanencia de la reserva como área protegida. En especial Mapimí ha permitido apreciar las ventajas e inconvenientes de la modalidad que planteamos. Su influencia en México es definitiva. Tomando como base el modelo creado por el Instituto de Ecología se establecen las reservas de Manantlán (Jalisco), Sian Ka'an (Quintana Roo) y El Cielo (Tamaulipas). Nuestro modelo también estuvo en la base de la creación de la reserva de Montes Azules, en la Selva Lacandona, en Chiapas, aunque una serie de circunstancias -en especial el no tener un centro de investigación que coordinase los trabajos- han hecho que su historia no transcurra totalmente como se planteó. Además, Mapimí ha sido un ejemplo vivo que ha influido para que la figura de reserva de la biosfera quede incorporada en la legislación mexicana a través de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como en la política de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). SEDUE se ha convertido en un firme sostenedor y propagador de esta forma de conservación de los recursos naturales.

En Mapimí y en La Michilía, hemos pretendido demostrar que conservación y desarrollo no son metas antagónicas. Consideramos que no es posible visualizar la conservación en base a una perpetuación de la miseria y de la insatisfacción social. Tampoco puede concebirse un

desarrollo que lleva a la destrucción de nuestros recursos naturales y a un mayor deterioro de la calidad de vida, ya ahora profundamente afectada. Justamente a encontrar la forma de conciliar estas dos necesidades : conservación y desarrollo, es a lo que se dirigen los esfuerzos de las reservas de la biosfera mexicanas. Si la investigación sobre el medio ambiente va a contribuir a la solución de problemas, deberá estar orientada a la acción, ser positiva antes que negativa y dar soluciones alternativas, realistas y concretas a los problemas del desarrollo.

Mapimí y La Michilía se crean y consolidan en base a lo que hemos denominado "modalidad mexicana" del concepto de reserva de la biosfera, que en estas dos reservas y en las que después se han establecido se ha puesto a prueba. La modalidad mexicana se basa en cuatro puntos esenciales :

1. La incorporación de poblaciones e instituciones locales a la tarea común de conservación del germoplasma.
2. Incluir la problemática socio-económica regional en los trabajos de investigación y desarrollo de la reserva.
3. Dar a las reservas la mayor flexibilidad administrativa posible, incorporando a su gestión instituciones de investigación, todo ello dentro del marco que establecen las leyes mexicanas.
4. Considerar que las reservas deben formar parte de una estrategia global para conciliar conservación y desarrollo.

Indudablemente una reserva así planteada tiene muy poco en común con las áreas protegidas convencionales. Es una alternativa mucho más acorde con la realidad, que tiene posibilidades e indudable utilidad en un mundo en el que un pretendido desarrollo va de la mano con la destrucción irracional y precipitada de los recursos naturales.

El balance de quince años de trabajo en Mapimí es altamente satisfactorio, tanto desde el punto de vista científico como práctico. Para la ciencia, Mapimí ha sido el lugar donde se han gestado numerosos artículos, 7 libros y 9 capítulos de libro, así como muchas tesis, contribuciones que tratan desde problemas ecológicos básicos como es la estructura de comunidades y su dinámica, hasta problemas de aplicación inmediata, como los que van a ser examinados en este seminario. La sola permanencia de la reserva, cada vez más conocida, ampliamente aceptada por las poblaciones

locales, es la mejor prueba de éxito de nuestro planteamiento. No sólo continua la reserva, sino que su centro operativo : el Laboratorio del Desierto se mantiene y sigue funcionando igual o mejor que el día de su inauguración, el personal científico ha aumentado, así como las relaciones con instituciones mexicanas y extranjeras.

Hemos aprendido en las reservas de Durango y en las que posteriormente se han ido estableciendo, que en las condiciones de México, no es posible mantener una reserva de la biosfera si no se cuenta con apoyo político al más alto nivel y éste se sostiene durante un tiempo prolongado. Nos referimos a un apoyo como el que nos dió en Mapimí y La Michilía el Dr. Héctor Mayagoitia, entonces gobernador de Durango.

La gran dificultad es mantener y consolidar. Indudablemente un paso importante son los estudios iniciales y el decreto formal que establece la reserva, pero este primer paso no automáticamente asegura que esta área cumpla las funciones de conservación, investigación y desarrollo regional que se desean. La reserva necesita de voluntad política federal y estatal para su creación, mantenimiento y desarrollo. El centro o centros de investigación que participen pueden ser gestores, más o menos afortunados, de este apoyo político, pero no lo pueden reemplazar. Durante años esperamos que continúe, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con su apoyo a proyectos e infraestructura, así como a la cooperación internacional, ha sido un promotor de alto nivel que ha permitido la continuidad de los trabajos en las reservas de México.

¿En este esquema, dónde entra la colaboración con ORSTOM?

Desde que se iniciaron los trabajos en Mapimí fué evidente que si queríamos ser congruentes con nuestros planteamientos debíamos prestar atención a la actividad económica más importante de la región : la ganadería extensiva.

Esta ganadería se practica en condiciones difíciles, limitada por la disponibilidad de agua, la calidad y la cantidad de pasto y el peligro de degradación de suelos y vegetación. Por otra parte, la ganadería extensiva bien llevada no choca con la conservación del germoplasma y permite un nivel de vida bastante por encima del medio en el campo mexicano. Es natural que el proyecto principal de investigación aplicada de Mapimí estuviese dirigido al estudio de los elementos que sustentan la actividad ganadera, así como a las propias estrategias de manejo del ganado.

El Dr. Carlos Montaña se encargó por parte del Instituto de Ecología de iniciar los trabajos. Encontró en el Dr. Antoine Cornet de ORSTOM un interlocutor que comprendió plenamente nuestros objetivos. Por nuestra parte, queríamos aprovechar la gran experiencia de ORSTOM en condiciones ecológicas semejantes del norte de Africa. En abril de 1982, siendo director del Instituto de Ecología, tuve la satisfacción de firmar el primer convenio de cooperación con ORSTOM. Los objetivos fueron el estudio de la vegetación, los suelos y el agua en Mapimí, con vistas a racionalizar su uso por el ganado.

En 1983, ya con la colaboración del Dr. Jean Pierre Delhoume se iniciaron los trámites para obtener el apoyo de la Comunidad Económica Europea para el financiamiento del programa conjunto. El acuerdo se firmó en 1986 y concluirá formalmente este año, aunque la disponibilidad de fondos permitirá ampliar las acciones hasta 1990. El tema propuesto a la Comunidad Económica Europea fué la utilización de las aguas superficiales en el medio árido, centrandó los trabajos en Mapimí.

En 1985 terminó la primera etapa del convenio con ORSTOM, ampliando el entonces director del Instituto de Ecología Pedro Reyes Castillo el plan de cooperación hasta 1987. Posteriormente se han hecho dos nuevas ampliaciones del convenio, la segunda de 1987 a 1989, y la tercera, que acaba de firmarse, hasta 1992.

En estas ampliaciones se insistió en el estudio de las comunidades vegetales con interés forrajero y su distribución espacial, así como en la dinámica del agua en los distintos tipos de suelo y de cubierta vegetal. En la última ampliación se incluyó una nueva línea de investigación sobre pastoralismo, destinada a estudiar las modalidades de la ganadería en la región.

La cooperación entre ORSTOM e Instituto de Ecología tiene ya ocho años de historia. El exámen de los planteamientos y programas sobre los que se ha establecido, pone de relieve que fué muy bien planteada. Lo que este seminario deberá determinar es si se han obtenido los éxitos esperados.

Indudablemente este programa, como toda la investigación científica en México, se ha visto seriamente afectado por la crisis económica que se inicia a fines de 1982, Las condiciones en 1981 y principios de 1982, cuando se planeó la cooperación y se firmó el primer acuerdo, eran muy distintas de lo que fueron en años posteriores. Hay que acreditar al Instituto de Ecología que a pesar de las dificultades económicas el trabajo no se

suspendió. Sin duda ayudó mucho el apoyo de la Comunidad Económica, pero éste no llegó sino a partir de 1986. Ha sido por lo tanto la voluntad y los esfuerzos del Instituto de Ecología y de ORSTOM, los que han hecho posible que la colaboración se mantenga a pesar de las reducciones financieras.

Como Director General del Instituto de Ecología me he planteado una serie de preguntas, cuya respuesta espero encontrar en el transcurso del seminario :

1. ¿Entendió ORSTOM y sus distintos investigadores lo que el Instituto de Ecología deseaba y desea con el programa de colaboración?

2. ¿Pudo el Instituto de Ecología, a pesar de las dificultades económicas, proporcionar a los investigadores de ORSTOM las condiciones mínimas para que el trabajo de investigación pudiera ser realizado en forma decorosa? Señalo condiciones mínimas, ya que sabemos bien que las óptimas, incluso las deseadas, no las hemos tenido.

3. ¿Se han cumplido los objetivos planteados en el convenio original y en sus tres ampliaciones? Para examinar este cumplimiento hay que pensar que los resultados pueden corresponder a varios aspectos : publicaciones científicas, formación de recursos humanos, repercusión sobre la realidad socioeconómica, e incluso consolidación de la cooperación binacional.

4. ¿Ha sido la coordinación entre los responsables directos de los trabajos por parte de ORSTOM y del Instituto de Ecología la adecuada o ha fallado esta comunicación y coordinación, afectando la marcha y los resultados del programa?

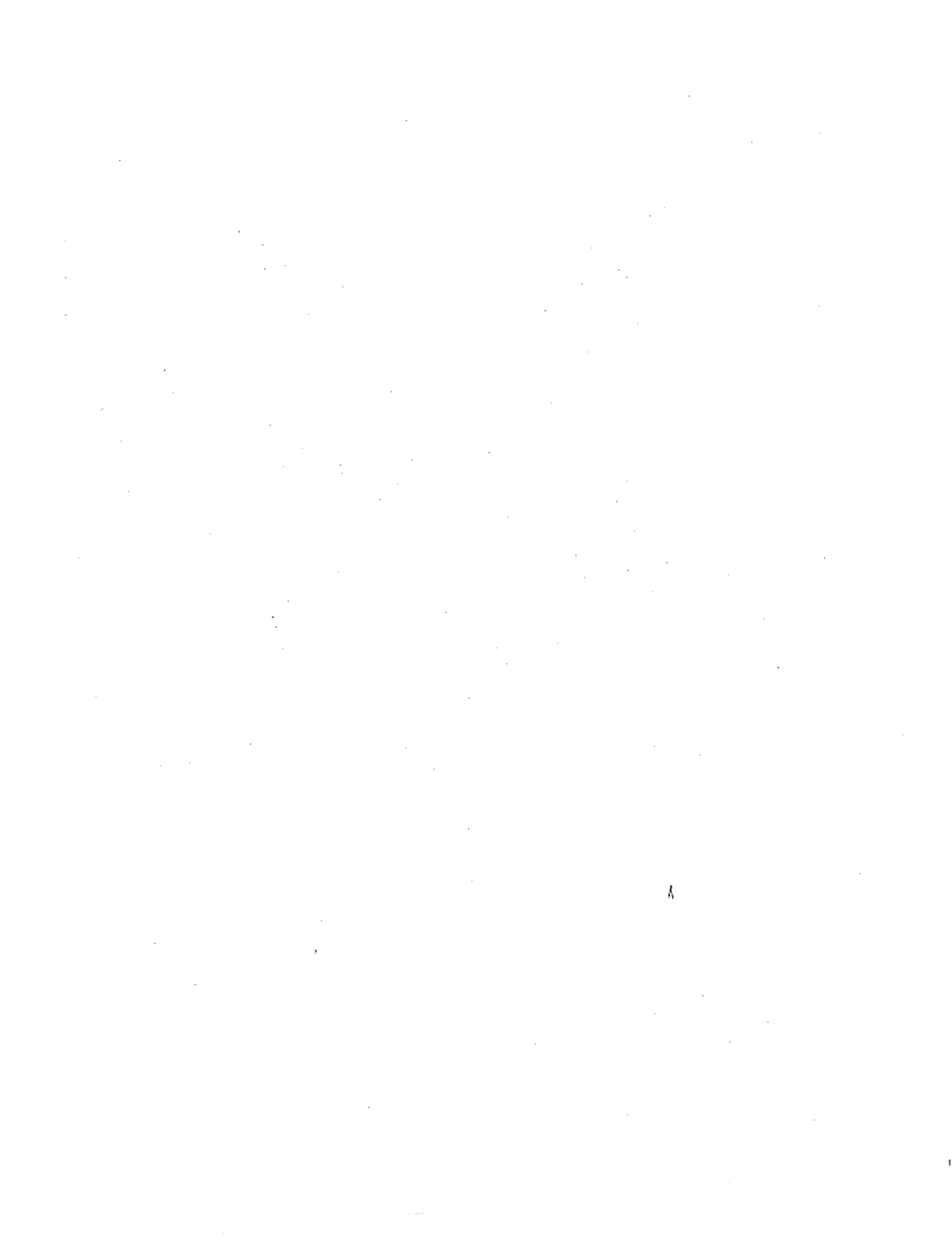
5. ¿Ha sido la formación de recursos humanos la adecuada? ¿Realmente se han formado investigadores que puedan continuar las acciones iniciadas?

El taller que hoy se inicia y que continuará en Gómez Palacio y en Mapimí, era totalmente indispensable para contestar las preguntas antes enunciadas y otras que seguramente surgirán al examinar en detalle los trabajos. Hace varios años que el Dr. Antoine Cornet y yo, siendo entonces funcionario de CONACYT, pensamos que un proceso de evaluación científica, binacional, era indispensable. Por distintas razones el taller difirió. Por fin y gracias a un esfuerzo conjunto de Ma. Eugenia Maury y de Jean Pierre Delhoume esta reunión ha sido posible. Todos los que creemos en el valor de la investigación como mecanismo de generación de ideas y

alternativas, estamos concientes de la importancia de la evaluación. La investigación es una actividad profesional, realizada por personas que son pagadas para ello. En ésta como en cualquier otra actividad humana, el resultado puede no ser el deseado, bien por falta de medios o de atmósfera adecuada, bien por falta de dirección, bien por falta de disciplina en el trabajo por parte de los investigadores, incluso por la interferencia de problemas humanos que no permiten obtener el máximo rendimiento. Créo que tanto ORSTOM como el Instituto de Ecología deseamos un juicio crítico sobre un esfuerzo conjunto que ya tiene ocho años, y en el que han intervenido un número relativamente importante de elementos capacitados.

Este año el Instituto de Ecología ha cambiado por completo. Con el traslado del personal que estaba en México a las nuevas sedes de Xalapa y Durango con el aumento en posibilidades de infraestructura, el Instituto adquiere una nueva responsabilidad.

La nueva etapa incluye la concentración de los investigadores ORSTOM en nuestra nueva sede de Durango, lo que esperamos que redunde en una mucha mayor integración con los investigadores mexicanos. Es el deseo del Instituto que su centro regional en Durango se convierta en un polo importante de trabajo sobre zonas áridas, ya que desde él controlará la investigación en las reservas de Mapimí y La Michilía, así como los proyectos relativos al norte árido. Estamos concientes de la gran importancia que puede tener, para esta nueva etapa, contar con la colaboración de ORSTOM e incluso incrementarla. Es por eso que estamos tan interesados en obtener un juicio crítico y directrices para la continuación de los trabajos conjuntos.



MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES Y NOCIÓN DE ESPACIO

LA COOPERACIÓN ENTRE EL INSTITUTO DE ECOLOGÍA Y EL ORSTOM

Michel Portais

En julio de 1989, siete jefes de Estado reunidos en París hablaron por primera vez a este nivel sobre ecología. Este hecho nos permite medir el grado de inquietud universal al respecto. Como siempre, la inquietud puede generarse en la falta de conocimiento.

Para enfocar nuestro seminario en este contexto, a nuestro sencillo nivel podemos tomar varios caminos. Permitirán a un geógrafo hacerlo con sus propias herramientas, a partir de una reflexión sobre el concepto de espacio y de territorio.

La ecología y la geografía constituyen dos campos de estudio muy ligados. Las dos se preocupan por los sistemas complejos en el espacio. La ecología orientada al medio natural, la geografía más preocupada por los asentamientos humanos y los rastros culturales aparentes dentro de los paisajes. Los invito entonces a una reflexión sobre la noción de espacio, y de manera general y más precisa del espacio pertinente en materia de investigación científica, aplicada al manejo de los recursos naturales.

La ecología tiene por costumbre razonar sobre espacios muy diversos como el nicho ecológico o los grandes ambientes climáticos homogéneos. Los geógrafos por su parte, desde hace mucho tiempo y sin tener siempre éxito, han buscado definir espacios regionales : regiones naturales, culturales, económicas, polarizadas, grandes regiones geopolíticas etc. En realidad del nicho ecológico a los bloques geopolíticos todos los conceptos de división del espacio tienen su razón de ser y corresponden a una realidad.

El espacio territorial

Pero en todos los casos, se trata de la división del espacio en *territorios*, o sea, de una delimitación del espacio global en espacios particulares como los elementos de un adoquín, de un mosaico, de un rompecabezas. La imagen global será dividida en dos, en 20 o en 2000 piezas pero siempre bajo el mismo principio que presupone la definición de *límites* o de *fronteras*. Los científicos, de esta manera, hacen lo mismo que cualquier grupo o sociedad humana involucrando su vida dentro del marco de un territorio. Podemos preguntarnos : ¿para qué, fijar siempre límites de territorios si no es para responder a una necesidad fundamental del género humano de carácter etológico?

Este fundamento nos hace analizar el espacio, comprender el espacio, organizar, manejar y, sobre todo, vivir el espacio como una sucesión continua de territorios.

Esta dimensión etológica, que compartimos con las especies animales, encontró una expresión social particularmente fuerte durante el siglo XIX con la asociación entre la noción de frontera y la de nación.

La frontera política tal como la conocemos es un concepto bastante reciente. Antes los príncipes se conformaban con reinar sobre aldeas, pueblos o ciudades y sobre territorios que dependían de ellos y realmente eran controlados. La redacción de las cartas de la corona española sobre la delimitación de los virreinos o de las audiencias del Nuevo Mundo y sus límites es muy expresiva al respecto. En ellas podemos leer que, por ejemplo, la Audiencia de Quito incluye tal, tal o tal población, aldea o reducción y no que sus límites pasan por tal montaña o tal río.

La existencia de los mapas perfeccionados por geógrafos a partir del siglo XVI y que fueron más exactos a partir del siglo XVIII dió malas ideas a los hombres políticos. Querían entonces materializar las fronteras y darse mayor poder viendo crecer en los mapas los espacios que dominaban. Resultado de esta corriente, la asociación de la noción de "espacio vital" con la de "fronteras naturales" lo que vino a justificar las peores necesidades y a jugar un papel importante en los dos conflictos mundiales de la primera mitad del siglo XX. De tal forma que, la dimensión etológica que es una dimensión esencial del género humano, se encontraba totalmente descarriada.

El espacio reticular

Al lado de esta dimensión *territorial* y etológica del espacio, el hombre lo concibe desde otra dimensión también fundamental, que es la dimensión *universal*. Los hombres no sólo pertenecen a grupos o a tribus territoriales, también pertenecen a familias de carácter o de vocación universal, trátese de familias espirituales o filosóficas o se trate de la punta del grupo económico de banqueros y de los grandes comerciantes que jamás se conforman con la existencia de fronteras, o de la familia de científicos que desde siempre también trata de trascenderlas. El deseo de saber lo que pasa al otro lado del planeta, de comerciar con quien sea, de propagar una idea, procede de este segundo concepto humano de espacio.

Esta segunda dimensión del espacio no está incluida dentro del marco de los territorios. Se inscribe a través de redes como las telarañas, redes que unen o contraponen por encima de cualquier límite. Redes de influencia, redes comerciales, redes bancarias, redes de vías de comunicación de bancos de datos y, cada día más, redes de telecomunicaciones. El desarrollo de esta organización del espacio en redes, tiende a borrar o a desorganizar los sistemas territoriales sobreponiéndoseles. Véase por ejemplo la debilidad de cierto gran imperio, adoquín de territorios nacionales, frente a la insolente salud de minúsculos territorios que son cabeza de múltiples redes mundiales.

Pensarán que estoy muy lejos de la ecología, pero en este campo como en el del manejo de los recursos naturales, esta modificación de la relación de fuerza o de equilibrio entre los dos modelos de organización del espacio tiene consecuencias considerables.

En efecto, en un espacio organizado en redes lo que cuenta son los *nudos*. Es dentro de estos nudos, jerarquizados, que se tejen los hilos y que se toman las decisiones. Su importancia es tal que es allí donde se reúne todo lo que cuenta. Es allí donde hay que estar y es allí donde se concentran cada vez más las poblaciones.

En una fase de fuerte expansión demográfica como la que conocimos entre 1945 y 1975 a escala mundial esto no se traduce en consecuencias muy marcadas en los espacios internodales, que son espacios mal irrigados por las redes. Pero hemos llegado ahora a una fase donde la transición demográfica nos acerca a un crecimiento nulo, incluso negativo, en ciertos países industrializados, y paralelamente la concentración de la población en espacios nodales privilegiados continúa, encontrando allí todas las ventajas

de la organización reticular del espacio.

En ecología, a escala planetaria, hemos entrado a una fase de transposición de la situación donde el dato básico será cada vez menos el crecimiento demográfico y cada vez más el estrechamiento de los espacios controlados.

Es cierto que lo que digo puede parecer paradójico, cuando una de las mayores preocupaciones de los responsables de nuestro planeta es la deforestación de la zona intertropical. Aquí mismo, en México, el crecimiento demográfico sigue siendo un problema. Sin embargo, esta paradoja es sólo aparente.

Tomaré por ejemplo el caso de los Andes ecuatorianos. Actualmente, en esta región del mundo se sobrepasan los límites de cultivo a las altitudes extremas, altitudes que fueron alcanzadas durante el último periodo de fuerte presión demográfica que precedió a la conquista. Al pie de monte de los Andes, vemos a los colonos desmontar la región amazónica a medida que se abren nuevas vías de comunicación. Sin embargo, si analizamos los mapas de evolución demográfica, encontraremos, en la misma región, lienzos enteros de las vertientes andinas o del pie de monte amazónico, colonizados en los años 50, 60 ó 70, vaciarse poco a poco de sus agricultores y dejar a una ganadería extensiva. En los Andes, vastas regiones, en otro tiempo cubiertas de cereales y soportando fuertes densidades de población rural, dan lugar a la ganadería extensiva o a la reforestación.

En Europa, el regreso a los matorrales de cientos de miles de hectáreas es un fenómeno que se amplifica y que, acompañado de falta de control de las malezas, constituye una de las causas de los grandes incendios de bosques en la periferia de la Cuenca del Mediterráneo. En Australia, la población, poco numerosa y estancada, siempre se concentra más en los grandes centros urbanos, dejando las regiones rurales cada vez más incontrolables.

El fenómeno atañe a espacios inmensos y se hace demasiado general para poder invertirse a corto plazo, más por el contrario, corre el riesgo de generalizarse en los próximos decenios.

Una primera consecuencia es entonces clara : por primera vez desde hace muchos siglos, un estrechamiento del espacio del planeta ocupado por el hombre o, por lo menos, un control cada vez más mediocre de nuevos territorios. Por ejemplo, en el norte de México, interés de este seminario,

el crecimiento urbano es muy fuerte mientras que el crecimiento demográfico disminuye. La más mínima reforma al sistema ejidal provocará nuevas migraciones. Lo mismo sucede en Yucatán y Quintana Roo donde las zonas rurales practican un control real de los nacimientos y donde el crecimiento urbano se acelera. ¿No tendría algo que ver éso con los gigantescos incendios de bosques que allí se suscitaron recientemente, hecho sin equivalente en la memoria del hombre?

La segunda consecuencia : el control del espacio está cada vez menos en manos de organizaciones tradicionales incluídas en los territorios como el pueblo, la tribu o la nación y cada vez más es responsabilidad de organismos de tipo reticular. Bastará con observar la acción de las grandes fundaciones internacionales en la toma de conciencia de la deforestación de la región Amazónica o del Africa ecuatorial. Se envían expertos, se hacen experimentos a distancia. Desde los laboratorios de análisis de imágenes de satélites, situados, por ejemplo, en Francia o en Holanda, se estudia el avance del desierto procesando las imágenes del satélite SPOT.

Esta reorganización del control del espacio puede tener consecuencias dramáticas, por ejemplo en el campo de la salud. Así, en vastos territorios, el recrudescimiento de grandes endemias como el paludismo se ha transformado en un hecho inquietante. El número de médicos crece pero siempre se concentra mucho más en los centros urbanos, dejando los espacios rurales cada vez menos atendidos. ¿Como evitar, entonces, que los campesinos busquen zonas más salubres para sus hijos?

El trabajo de terreno parece, en realidad, muy descuidado. Hay entonces un peligro ecológico grave si el control de los espacios se ve abandonado por las poblaciones locales y por los organismos territoriales, transfiriéndolo a los grandes sistemas ligados a la organización reticular del espacio.

Necesariamente deberá haber un equilibrio entre las grandes estrategias científicas, económicas y políticas, inspiradas por una parte en el plan universal y, por la otra, las organizaciones territoriales locales, comunidades, municipios, grupos de campesinos etc. que tienen la práctica y la vocación de integrar en cada lugar del espacio, en cada territorio, las necesidades inmediatas del hombre en sus relaciones con la naturaleza.

La doble preocupación de la cooperación

En esta problemática de equilibrio entre el territorio y el espacio reticular, o entre lo local y lo universal, quisiera ahora y para terminar, resaltar la cooperación entre el Instituto de Ecología y ORSTOM.

ORSTOM es una institución que desde hace 48 años ha situado a la ecología en todos sus aspectos en el centro de sus preocupaciones : inventario de los recursos, conocimiento de los procesos, investigación sobre las interacciones desde los datos fundamentales de geofísica hasta los campos de la microbiología. Su estructura y sus programas de investigación así como su finalidad, la colocan dentro del campo de las instituciones científicas internacionales. Por esta razón pertenece al mundo de las redes del espacio universal. Pero ORSTOM tiene también una vieja herencia y resulta que la historia de sus investigadores es la de equipos de campo que recorren durante años los mismos ambientes, las mismas regiones, acercándose siempre a las poblaciones y sus problemas.

Con el Instituto de Ecología tratamos de responder a nuestra vocación de investigación científica y por consecuencia de carácter universal, pero enfocada en la compleja realidad de los territorios y de las necesidades de las poblaciones locales. Nuestra presencia común en el terreno es la condición indispensable de nuestra vocación y es la percepción muy neta de esa originalidad por sus responsables el Dr. Gonzalo Halffter y el M. en C. Pedro Reyes Castillo lo que ha reforzado nuestra cooperación con el Instituto de Ecología desde 1982.

El modelo de estudio que se ha seguido en Mapimí, deseado por las dos instituciones, pero también fruto de las circunstancias y de la disponibilidad de los investigadores, ha demostrado su interés y deberá conducirnos a centrar este seminario sobre sus verdaderos objetivos.

La Reserva de la Biosfera de Mapimí constituye un punto, un lugar, que forma parte de una red internacional de estudios en las zonas áridas y semiáridas. Los resultados de las investigaciones en botánica, en edafología etc. que ya han sido realizadas, se han traducido en publicaciones (particularmente estoy pensando en el compendio de los estudios publicados el año pasado bajo la dirección de Carlos Montaña). Las comunicaciones que se harán en el transcurso de este seminario, permitirán reubicar los resultados en el cuerpo de los conocimientos sobre los medios áridos y semiáridos y establecer comparaciones con otras regiones del mundo.

Pero Mapimí, por voluntad de aquellos que han construido este proyecto, posee también otra dimensión. Mapimí es representativo o más bien es el punto de partida de estudios que deberán conducirse a otra escala : a escala regional o territorial. Y es a esta escala que encontrarán las preocupaciones de los actores territoriales : ganaderos, responsables de la planificación agrícola y de la política local, etc., llegaremos así al intercambio necesario entre científicos y actores locales, entre resultados de la investigación y necesidades de los planificadores y de las poblaciones locales.

Se trata ahora de preparar la fase siguiente de cooperación deseada por las dos partes bajo el patrocinio del CONACYT : en esta fase será conveniente ir aún más lejos en las dos direcciones que nos preocupan :

- Por una parte, afinar todavía más el estudio científico de los procesos y de las interacciones del sistema agua-suelo-planta, a las escalas que sean necesarias para la comprensión de los fenómenos.

- Por otra parte, pasar a una dimensión regional del estudio global de las aguas de superficie, el seguimiento de los bolsones en relación con un enfoque integrado de los problemas de la ganadería y de los datos socioeconómicos, lo cual deberá conducir a resultados utilizables.

Llegar a conjugar estos dos acercamientos y este seminario es el primer paso en este sentido, he aquí el reto que el Instituto de Ecología de México y ORSTOM han elegido para alcanzar a través de la cooperación. Para esto cuentan con la ayuda financiera de la CEE, del CONACYT y del Gobierno del Estado de Durango. Cuentan también con el consejo de todos aquellos que, viniendo de otras instituciones -y su presencia aquí lo prueba- han aceptado participar, con toda su experiencia, en esta bella empresa.

PROBLEMATICA DE LAS ZONAS ARIDAS DEL NORTE DE MEXICO

PROBLEMATIQUE DES ZONES ARIDES DU NORD DU MEXIQUE

PROBLEMATICA DE LAS ZONAS ARIDAS EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Luis Fernando Flores Lui

El desierto Chihuahuense comprende una extensión de 355 mil kilómetros cuadrados. Aunque la delimitación de esta superficie no ha sido exactamente definida, comprende los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango en México y Texas, Arizona y Nuevo México en los Estados Unidos de América.

No obstante la gran extensión territorial, poca atención se le ha prestado ya que relativamente pocos trabajos de investigación se han realizado con el propósito de estudiar la problemática que aqueja a la región y específicamente dirigidos hacia la utilización de los recursos agua, suelo, vegetación y ganado en el desierto Chihuahuense.

En los últimos años, el Instituto de Ecología y otras instituciones de investigación han aportado resultados de investigación que constituyen los elementos básicos que permiten identificar y cuantificar los recursos y definir las estrategias para su aprovechamiento racional.

Dada la magnitud de la extensión territorial es fácil comprender el amplio rango de problemas que se presentan y que van desde los que directamente afectan la ecología regional hasta los que están íntimamente relacionados con las condiciones socioeconómicas de la región, y todas sus posibles combinaciones.

Tratar de analizar las problemáticas de las zonas áridas en el Desierto Chihuahuense desde un punto de vista integral resulta un tanto difícil. En primer lugar por la escasez de información que en materia de inventario de recursos naturales, demografía y en general sobre las actividades económicas que se llevan a cabo; y en segundo por el desconocimiento que se tiene del impacto que sobre los recursos naturales tienen las actividades que se realizan. Ante esta situación, el propósito de este trabajo es presentar los problemas de mayor relevancia, con una orientación hacia la utilización racional de los recursos agua, suelo y vegetación, a partir de las actividades agrícolas, pecuaria y forestal.

Antecedentes

Tomando en cuenta que pocos y de muy limitado resultado han sido los programas de desarrollo y conservación que se han aplicado en el Desierto Chihuahuense, podemos afirmar que a partir de la Colonia con el inicio de las actividades agrícolas y pecuarias se inicia el deterioro de los recursos agua, suelo y vegetación. A la fecha, se han hecho evidentes las alteraciones al medio ecológico entre éstas vale la pena mencionar las siguientes : abatimiento del acuífero, erosión, salinización de las áreas de cultivo, sobre explotación de pastizales y contaminación con agroquímicos.

En cuanto al clima, el Desierto Chihuahuense presenta una fuerte variación; no obstante, el común denominador es la escasez de precipitación durante el período de crecimiento que a su vez es limitado por la temperatura. Estudios sobre el clima han sido reportados por Cornet, 1988.

En términos generales en el Desierto Chihuahuense se presenta una temperatura media anual de 20 °C con una amplitud de 20 °C lo que nos demuestra las fuertes variaciones que se presentan. Con una precipitación de 200 mm anuales y un rango de 80 a 500; en contraste, la evaporación anual asciende a 2800 mm por año y la humedad relativa promedio es de 25 %.

En lo relativo a suelos, éstos son básicamente pobres en materia orgánica y en nitrógeno (litosoles y ganidosoles) propios de las zonas áridas. Su baja productividad intrínseca hace que este sistema ecológico sea muy fácilmente degradable particularmente por las actividades intensivas como la agricultura y la ganadería y las extractivas como las actividades forestales.

El recurso agua asciende en volumen a 120 mil millones de metros cúbicos considerando la precipitación anual en la región; de éstos sólo 25 mil millones son aprovechados por los cultivos y otras especies de interés pecuario y forestal. Por otra parte se aprovechan 4 mil millones de metros cúbicos del agua del subsuelo y se cuenta con un almacenamiento de 8 mil millones de metros cúbicos en presas.

Actividad Agrícola

Dadas las condiciones climáticas, la actividad agrícola en su gran mayoría se realiza bajo condiciones de riego y solo en áreas muy pequeñas se lleva a cabo agricultura de temporal. Con más de un millón de hectáreas

en una amplia gama de cultivos entre los que sobresalen básicos, frutales y forrajes se desarrolla la agricultura en sistemas de producción altamente tecnificados.

El agua para el desarrollo de esta actividad proviene de dos fuentes : escurrimientos superficiales (presas) y de los acuíferos subterráneos, y es en esta última en la que el deterioro de los recursos agua y suelo se hace más evidente y se expresa en un rápido abatimiento de los niveles de los acuíferos debido a la sobreexplotación y como consecuencia de esto una rápida salinización de los suelos por la utilización de aguas de baja calidad.

En el caso de la agricultura de temporal, su efecto más directo ha sido en relación a la expansión de estas actividades con lo que se han incorporado tierras de vocación pecuaria a la producción de cultivos que en la mayoría de los casos producen poco y que además están sujetos a alto riesgo climático consecuencia de la sequía.

Actividad Pecuaria

La actividad pecuaria reviste particular importancia ya que se ha estimado que en el Desierto Chihuahuense se produce aproximadamente un tercio con respecto a la producción nacional. Actualmente existe un aprovechamiento intenso y desordenado de la vegetación natural y en particular de los pastizales. Esta actividad ha ocasionado alteraciones a las poblaciones vegetales cuya consecuencia inicial ha sido la invasión de especies leñosas que restan nivel productivo. Por otra parte existe evidencia de que no obstante la fuerte carga animal a que son sometidos los agostaderos su impacto negativo podría ser sustancialmente atenuado con un manejo más apropiado.

Actividad Forestal

La actividad forestal se fundamenta en una explotación de carácter extractivo de especies no maderables. La lechuguilla y candelilla son las especies más explotadas, algunas otras como la leña y carbón también constituyen una actividad importante. El desconocimiento de las tecnologías apropiadas para una explotación racional de estos recursos y las presiones económicas a las que los pobladores se ven sometidos, son las causas de más peso. Esta situación representa una seria amenaza para la conservación del ecosistema.

Desde el punto de vista socioeconómico, se ha detectado que la población rural asentada en esta zona está emigrando rápidamente a los centros urbanos y al extranjero en búsqueda de más y mejores fuentes de ingreso económico. Las causas principales han sido la falta de servicios de tipo social aunado a la baja productividad de la región indudablemente afectada por el deterioro de los recursos.

Mantener la productividad del Desierto Chihuahuense, conservar los recursos naturales y elevar los niveles de vida de los habitantes de esta región, es tarea de todas las instituciones relacionados y depende en gran medida del entendimiento de los ecosistemas áridos, de sus recursos de su potencial productivo, del desarrollo de la conciencia de sus habitantes en el sentido de que estos recursos podrán ser aprovechados por las generaciones futuras en la medida en la que se dan acciones en la actualidad.

Literatura citada

- Cornet, A. 1988. Principales caractéristiques climatiques. pp. 45-76. *In*: C. Montaña (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biósfera de Mapimí. I Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.

PROBLEMATIQUE SCIENTIFIQUE DU PROJET MAPIMI

Jean Pierre Delhoume

Justifications et Objectifs

Les régions arides et semi-arides, qui occupent le tiers des terres émergées, présentent un intérêt socio-économique très important pour l'avenir des zones tropicales et inter-tropicales, en particulier par les possibilités d'exploitation agricole des ressources naturelles qu'offrent ces milieux.

Tel est le cas du Mexique pour lequel les zones recevant une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 500 mm. représentent environ 55 % de la superficie du territoire, soit environ les deux tiers de la surface potentiellement utilisable pour les activités agricoles.

Ces zones à pluviométrie réduite sont localisées surtout dans la moitié nord du pays, là où l'agriculture pourrait être réalisée sans trop de difficultés techniques, à l'inverse des zones tropicales du sud à pluviométrie importante, mais pour lesquelles des problèmes pratiques de mise en valeur (fortes pentes par exemple) et de conservation (risques d'érosion) limitent fortement les possibilités d'un développement notable de l'agriculture.

C'est donc à une situation paradoxale que se trouve confrontée l'agriculture mexicaine : là où les ressources en eau sont les plus importantes, le relief ne permet que difficilement l'utilisation agricole du sol, alors que là où le relief permettrait cette utilisation, l'eau est très nettement insuffisante.

Ces quelques notions mettent en évidence à la fois l'importance relative des zones arides et semi-arides pour le Mexique, mais aussi les facteurs limitants qui conditionnent les possibilités d'exploitation agricole de ces milieux.

La contrainte primordiale est climatique, caractérisée essentiellement par la rareté en eau d'origine pluviale, laquelle détermine pourtant les possibilités d'existence des êtres vivants et des activités humaines. A la faible

quantité de précipitations s'ajoute leur très forte variabilité, à la fois dans le temps et dans l'espace. De plus, la majeure partie des pluies se produit en été, période de forte insolation : ainsi, la faible quantité d'eau pluviale que reçoivent ces zones n'est pas stockée en sa totalité dans le sol car une fraction importante de celle-ci est perdue rapidement par évaporation directe. De la sorte, c'est une partie seulement de la pluie qui contribue à la constitution de la réserve hydrique du sol.

Une autre contrainte est édaphique, par suite de certaines propriétés des sols. Ceux-ci, généralement pauvres chimiquement, présentent dans la majorité des cas, une texture argileuse dans les horizons supérieurs combinée à une structure massive à faible porosité. De plus, très souvent, la superficie de ces sols présente une croûte imperméable, véritable glaçage de la surface, constituant un milieu beaucoup plus favorable au ruissellement superficiel qu'à l'infiltration. L'ensemble de ces caractéristiques limite fortement les possibilités d'emmagasinage de l'eau dans le sol, ce qui réduit d'autant plus la réserve hydrique utilisable ensuite pour la production végétale. Enfin, dans les zones basses de la topographie, qui correspondent au niveau de base de bassins versants hydrologiques endoréïques, tous les sols sont salés, avec des degrés divers de salinité, ce qui résulte de l'accumulation progressive des eaux plus ou moins chargées en sels, venant de l'amont.

Par suite des contraintes naturelles intrinsèques de ces milieux, la majeure partie de ces zones arides correspond à des terres de parcours, exploitées essentiellement par l'élevage bovin extensif de temporal. Il s'agit d'une activité traditionnelle dans ces milieux, qui constitue l'une des principales ressources économiques d'origine agricole pour les populations.

Compte tenu des caractéristiques de ce milieu naturel, un tel type d'élevage doit être envisagé de manière rationnelle, car il s'agit d'écosystèmes fragiles dans leurs équilibres écologiques. Les modalités actuelles d'utilisation des ressources naturelles par l'élevage sont cependant inadaptées aux contraintes imposées par le milieu. A terme, cela comporte des risques de dégradation irréversible des écosystèmes, ce qui doit être évité car il s'agit d'une région potentiellement utilisable.

Depuis quelques décennies, la communauté scientifique a pris conscience de la problématique et des difficultés posées par l'exploitation rationnelle des régions arides et semi-arides, ce qui a suscité la mise en route de programmes de recherches dans différentes disciplines et dans diverses situations géographiques. L'un de ces programmes, appelé projet

Mapimi, est celui entrepris en collaboration depuis 1982, par l'Institut d'Ecologie du Mexique et par l'Institut français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM, France), dans un site expérimental représentatif de la zone aride du nord du Mexique.

L'objectif principal de ce projet est de déterminer, en fonction des conditions de milieu et des modalités dans lesquelles celui-ci est exploité actuellement par l'élevage extensif de temporal, d'une part, les possibilités d'utilisation rationnelle des ressources sol, eau et végétation pour ce type d'élevage, et d'autre part, les possibilités d'amélioration et de développement de celui-ci, avec toutefois le souci de la conservation de ces mêmes ressources.

Pour atteindre cet objectif, il était au préalable indispensable de pallier à l'insuffisance de connaissances scientifiques de base concernant le milieu étudié, et en particulier de déterminer, par une approche multidisciplinaire, la structure des écosystèmes, leurs mécanismes de fonctionnement et leur dynamique évolutive.

Méthodologie scientifique

I. *Choix d'un site d'étude*

Avec 357000 km², le désert de Chihuahua (Schmidt, 1979), est l'une des zones arides les plus étendues d'Amérique du nord, dont la majeure partie, soit 260000 km², est située dans le nord du Mexique, constituant 13 % du territoire mexicain (Fig. 1).

Une zone d'étude expérimentale a été choisie dans ce désert, sur la base de critères de caractérisation du milieu (climat, géologie, pédologie, hydrologie, végétation, topographie, occupation humaine), de manière à ce qu'elle soit représentative de cet écosystème aride : il s'agit de la Réserve de la Biosphère de Mapimi, localisée dans le sud du désert de Chihuahua, en limite des états de Durango, Coahuila et Chihuahua, et qui s'étend sur 1600 km², entre les latitudes nord 26° 29' et 26° 52' et les longitudes ouest 103° 32' et 103° 58'.

II. *Inventaire du milieu*

Les travaux de recherche ont débuté par la réalisation d'un inventaire des composantes naturelles de la zone d'étude, sous forme cartographique, à moyenne échelle (1/50000 et 1/100000), complété par une étude socio-

économique. Ces différents travaux ont fait l'objet d'une publication antérieure. (Montaña, C. Ed., 1988).

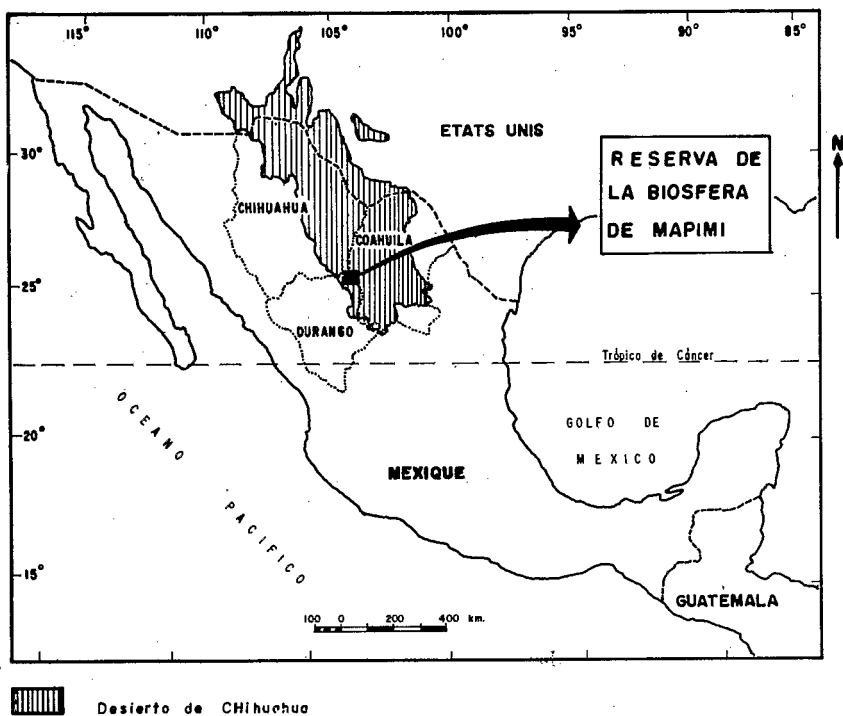


Fig. 1. Localisation du Désert de Chihuahua et de la Réserve de la Biosphère de Mapimi.

III. Caractérisation des écosystèmes

Les cartes de végétation, sols et paysage, obtenues à l'issue de la phase d'inventaire ci-dessus, nous ont permis d'identifier les principales unités écologiques élémentaires du milieu étudié, en particulier celles présentant un intérêt pour l'élevage.

Pour ces dernières, des recherches ont été alors entreprises dans le but de les caractériser et de déterminer leurs mécanismes de fonctionnement et leur dynamique. Ces travaux ont concerné essentiellement les ressources eau, sol et végétation, et ont été réalisés à deux échelles d'étude :

- une échelle ponctuelle, avec des stations expérimentales allant du m² jusqu'à quelques milliers de m² (micro-parcelles, parcelles), constituées chacune d'une seule unité écologique élémentaire.

- une échelle du paysage, par intégration progressive d'échelle, avec des dispositifs expérimentaux de plusieurs hectares à plusieurs km² (micro-bassins et bassins versants hydrologiques), composés chacun de plusieurs unités écologiques élémentaires.

IV. Propositions d'utilisation rationnelle des ressources sol-eau-végétation.

Avec les différents résultats scientifiques obtenus, il sera alors possible d'établir un diagnostic concernant le fonctionnement de l'écosystème aride étudié, ce qui nous permettra de formuler des propositions d'utilisation rationnelle des ressources naturelles pour l'élevage bovin extensif, et de proposer des scénarios d'amélioration de ce type d'exploitation.

Une généralisation des résultats au niveau régional pourra être ensuite envisagée, en particulier grâce à la télédétection.

Les travaux présentés durant ce Séminaire Mapimi concernent essentiellement les résultats obtenus lors de la phase de caractérisation des écosystèmes définie ci-dessus.

Ce séminaire est donc une étape dans le déroulement du Projet Mapimi, permettant, d'une part, de faire le point des connaissances acquises, d'autre part, de ré-orienter les recherches futures en fonction des résultats acquis.

Bibliographie

- Montaña, C. (Ed.) 1988.** Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Schmidt, R.H. Jr. 1979.** A climatic delimitation of the "real" Chihuahuan Desert. *J. Arid Envir.*, 2: 243-250.

1850. The first of these was the "Great Famine" of 1845-1849, which was caused by a combination of factors, including a potato blight that destroyed the primary food source for many Irish people. The famine resulted in the death of approximately one million people and the emigration of another million to other parts of the world, primarily the United States and Canada.

1851. The second major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1852. The third major event was the "Great Emigration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1853. The fourth major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1854. The fifth major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1855. The sixth major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1856. The seventh major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1857. The eighth major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1858. The ninth major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

1859. The tenth major event was the "Great Migration" of the 1850s, which saw a large number of Irish people leaving their native land in search of better opportunities elsewhere. This migration was driven by economic hardship, political instability, and the desire for a better life. Many Irish immigrants settled in the United States, where they often found work in industries such as agriculture, construction, and manufacturing.

LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMI

LA RESERVE DE LA BIOSPHERE DE MAPIMI

LE MILIEU PHYSIQUE

Jean Pierre Delhoume

Géologie et Géomorphologie

(d'après J.R. Bartolino, 1988 et R.F. Breimer, 1988).

La majeure partie du paysage de la Réserve de Mapimi (66 % de la superficie de celle-ci), se présente sous forme de vastes étendues au relief monotone, où l'altitude varie de 1080 à 1470 m. Ce type de paysage, qui occupe le centre, le sud et l'ouest de la Réserve, est constitué essentiellement de glacis ou *bajadas* à pente faible (moins de 8%), de plaines ou *playas* où la pente est inférieure à 1 % et de petits reliefs isolés, *lomas* et *cerros*. La zone nord est occupée par un champ de formations dunaires fixées par la végétation (17 % de la superficie), tandis qu'à l'est, le paysage est plus accidenté, avec la présence d'un important massif montagneux qui culmine à 1680 m. d'altitude (17 % de la superficie).

A ces grandes unités géomorphologiques correspondent les formations géologiques suivantes :

1. la zone orientale est largement occupée par des roches calcaires dures, d'époque Crétacé, dans lesquelles sont interstratifiées des marnes et des conglomérats calcaires.

2. la zone septentrionale est constituée par un substratum de grès, du Crétacé supérieur ou du Tertiaire inférieur, qui ont donné naissance aux dunes que l'on observe actuellement.

3. les zones centrale et sud correspondent aux *bajadas*, qui sont formées par trois matériaux interstratifiés, datant du Tertiaire : des lutites, des conglomérats et des roches volcaniques acides et basiques, l'ensemble ayant été recouvert de matériaux colluviaux et alluviaux. C'est l'érosion différentielle de ceux-ci qui a mis en relief les *lomas* et les *cerros* observés dans le paysage.

4. la zone occidentale ou *playa* est un graben tectonique orienté nord-sud, où est venue s'accumuler une grande épaisseur de sédiments à partir de la fin du Tertiaire et durant le Quaternaire.

Pédologie

(d'après R.F. Breimer, 1988 et J.P. Delhoume, 1988)

Les différents sols de la Réserve de Mapimí se différencient essentiellement par le type de matériau dans lequel ils se développent et par leur situation géomorphologique. C'est ainsi que l'on distingue quatre groupes principaux de sols :

1. Les Lithosols développés sur des matériaux durs (calcaires et roches volcaniques) : ces sols, localisés dans les zones de relief à pentes fortes, sont peu épais, très peu évolués et riches en éléments grossiers.

2. Les sols développés sur des matériaux colluviaux, situés surtout dans les zones de piedmont à pente moyenne : ce sont des Régosols, plus épais que les précédents et plus évolués, où dominent les éléments pierreux et graveleux.

3. Les sols développés sur des matériaux alluviaux, que l'on peut subdiviser en deux groupes :

- Les Xérosols et Yermosols de *bajadas* : il s'agit de sols plus évolués, moyennement épais (80 à 120 cm), de texture moyenne à fine, et qui présentent le plus souvent des accumulations secondaires de gypse et/ou de carbonate de calcium. Ces sols sont très peu salés en surface et présentent localement, à partir de 60/80 cm de profondeur, une salinité moyenne d'origine lithologique.

- Les sols de *playa* qui présentent divers degrés de salure : Yermosols et Xérosols à phase saline, gypseuse ou sodique, Vertisols chromiques plus ou moins salés ou sodiques et Solonchaks dans les zones les plus basses. Il s'agit de sols évolués, épais, à texture fine et à très mauvais drainage interne.

4. Les sols développés sur des matériaux d'origine éolienne : Régosols et Yermosols sur dunes récentes et Yermosols gypseux sur dunes fossiles. Ces sols ont une texture moyenne à grossière et ne présentent pas de caractères de salinité.

Hydrologie de surface

Sur le plan hydrologique, les eaux de surface de la Réserve de Mapimí se divisent selon trois sous-bassins fermés, qui s'étendent bien au-delà des limites de la Réserve et qui constituent l'un des deux grands bassins versants endoréïques du désert de Chihuahua :

- Le plus important est le sous-bassin de la *laguna de Palomas* (60 % de la superficie de la Réserve), qui correspond à la *playa* et à une partie de la *bajada* : il s'agit de la zone la plus basse de ce sous-bassin où les eaux, collectées par un axe central d'écoulement peu marqué topographiquement, viennent s'accumuler dans une *laguna*, dépression qui constitue le niveau de base hydrologique.

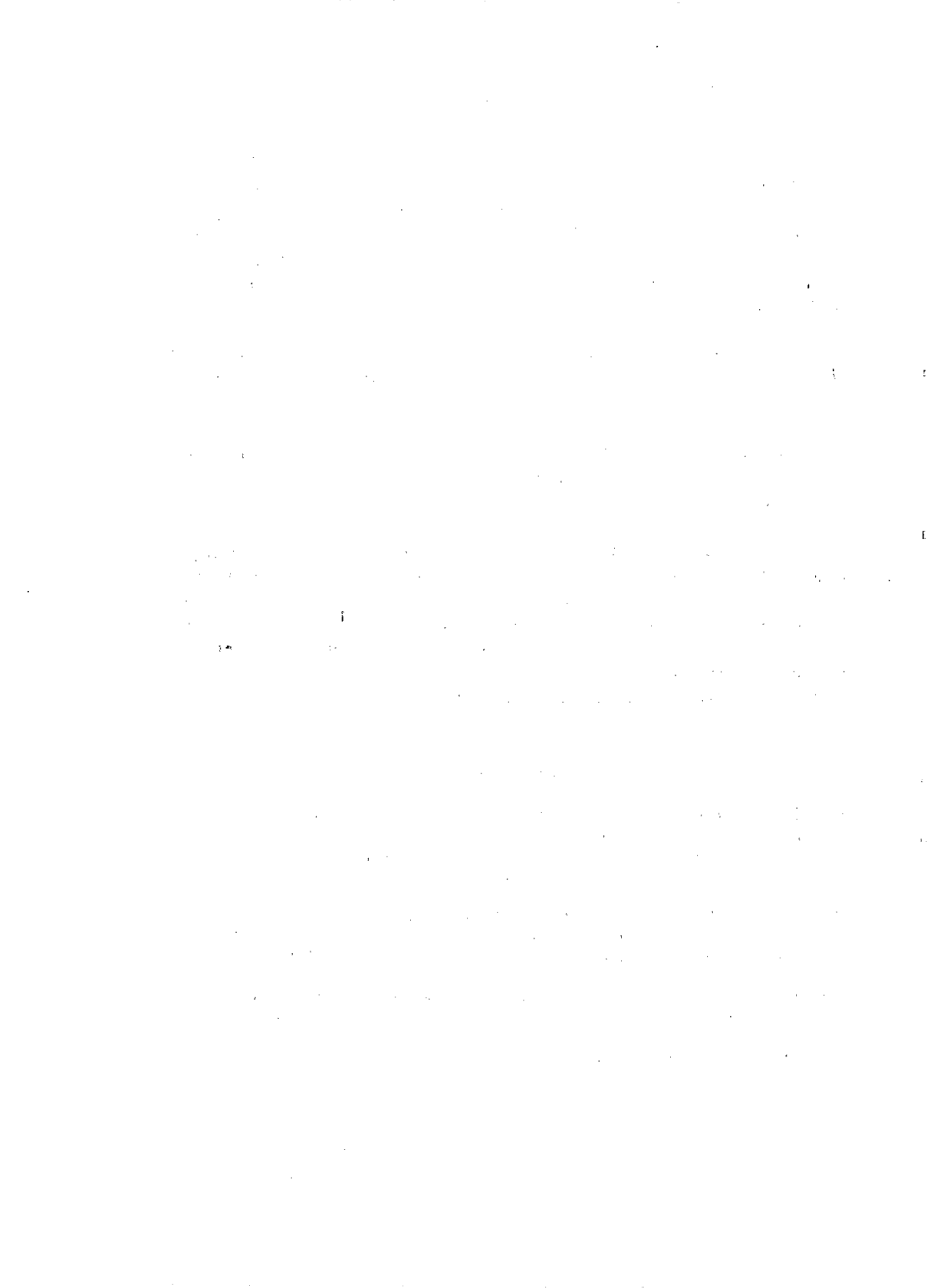
- Le sous-bassin de la *laguna del Rey* (25 % de la superficie), qui s'étend surtout sur le nord-est de la Réserve où il forme l'une des parties hautes de ce sous-bassin.

- Le sous-bassin de la *laguna Puerto Rico* (15 % de la superficie), qui ne couvre qu'une très faible superficie de la Réserve, au sud-est, formant là aussi une des zones hautes du sous-bassin.

D'une manière générale, le réseau hydrographique est peu marqué dans le paysage, sauf dans les zones de relief et de piedmont où il s'encaisse linéairement sous forme d'*arroyos* ou ruisseaux intermittents. Ceux-ci sont de moins en moins encaissés à mesure que l'on passe vers l'aval et ils disparaissent dans les zones de *bajada* et de *playa*, où l'écoulement superficiel se fait essentiellement de manière diffuse, en nappe, avec localement des micro-dépressions où s'accumulent les eaux.

Bibliographie

- Bartolino, J.R. 1988. Cenozoic geology of the eastern half of the La Flor quadrangle, Durango and Chihuahua, Mexico. *In*: Montaña, C. (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 77-97.
- Breimer, R.F. 1988. Physiographic Soil Survey. *In*: Montaña, C. (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 115-134.
- Delhoume, J.P. 1988. Distribution spatiale des Sols le long d'une Toposéquence Représentative. *In*: Montaña, C. (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 135-165.



PRINCIPALES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

Antoine Cornet

La connaissance du climat dans ses interactions avec les domaines biologiques revêt une importance primordiale pour l'étude des ressources naturelles. Dans le cadre du projet "Etude intégrée des ressources en sol, eau et végétation dans la Réserve de la Biosphère de Mapimí", il a été réalisé une étude des principaux éléments du climat et de leurs relations avec la production naturelle. Quelques études antérieures : Vilchis 1979 et 1981, Cornet 1984 et 1987, ont donné une description des éléments du climat. Le but du présent travail n'est pas une description exhaustive du climat, mais l'analyse des éléments qui conditionnent la biologie des espèces et leur production.

Mécanismes généraux du climat

Les mécanismes généraux du climat peuvent être expliqués par la circulation générale des flux atmosphériques qui affectent la zone et la présence de barrières orographiques qui en modifient l'influence (Schmidt 1983). La région étudiée est soumise à deux régimes dominants : un régime de vents d'ouest lié aux hautes pressions subtropicales durant la période sèche d'octobre à mai et un régime d'air tropical lié aux alizés provenant du Golfe du Mexique qui produit une arrivée d'air humide et des précipitations durant la période chaude. A ces deux régimes dominants, relativement réguliers, se juxtaposent des phénomènes atmosphériques du climat. Ce sont : (1) Des invasions de fronts froids continentaux, qui peuvent se produire d'octobre à mars; ils conduisent à des abaissements brutaux de température et provoquent des gelées dans la zone. En présence d'air humide des petites pluies fines peuvent se produire. (2) Des zones de basse pression dues à des variations de la circulation troposphérique peuvent se produire en saison sèche dans le Pacifique-est et amener des précipitations sur le Désert de Chihuahua. (3) Les fortes dépressions tropicales cycloniques du Golfe du Mexique et du Pacifique sont responsables des phénomènes pluvieux les plus étendus et les plus importants qui se produisent de manière aléatoire dans la zone.

Radiation solaire et températures

La radiation globale, dont la moyenne mensuelle (1980-1984) varie de 290 cal.cm⁻².j⁻¹ en décembre à 512 cal.cm⁻².j⁻¹ en mai, ne constitue pas un facteur limitant pour la croissance végétale. Cependant, la variation de la durée du jour, bien que faible (< à 3h) est suffisante pour induire chez les êtres vivants des phénomènes de photopériodisme.

La température moyenne annuelle (1978-1983) est de 20, 8°C ce qui correspond à un climat chaud, mais avec une forte amplitude saisonnière. Le tableau 1 donne les valeurs moyennes mensuelles des températures : minimum, maximum et moyenne de l'air sous abri en °C.

TABLEAU 1
VALEURS MOYENNES MENSUELLES DES TEMPERATURES MINIMUM (tm),
MAXIMUM (tM) ET MOYENNE (t) DE L'AIR SOUS ABRI EN °C POUR LE
LABORATOIRE DU DESERT, PERIODE MARS 1978 - DECEMBRE 1984

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
tm	3,9	5,5	9,2	13,0	16,7	19,9	20,0	19,3	17,3	13,7	7,0	6,4
tM	19,7	22,6	27,2	31,2	33,8	36,1	35,1	33,2	31,9	29,2	24,0	21,5
t	11,8	14,1	18,2	22,1	25,3	28,0	27,5	26,2	24,7	21,4	15,5	13,3

Les hivers sont frais, avec un nombre important de jours de gelée répartis de novembre à avril : 37 jours par an en moyenne pour Ceballos (1956-1983). Sur les 25 années observées pour cette station, on note une fréquence moyenne de 6 jours de gelée par an à une température inférieure à -5°C et de une gelée à t < -10°C tous les 6 ans. Les étés sont chauds : moyenne des maxima de juin 36,1°C. A la forte amplitude annuelle s'ajoutent de fortes amplitudes journalières tout au long de l'année (amplitude moyenne journalière pour Ceballos 20,0°C). Les études d'écologie et de phénologie montrent que les températures conditionnent les cycles de développement de nombreux végétaux et l'activité animale.

Précipitations

D'une manière générale, dans le Bolson de Mapimi, exception faite des reliefs, il existe un gradient des précipitations nord-ouest, sud-est. Celles-ci sont légèrement supérieures à 300 mm au nord (Escalon, Chih.) et inférieures à 200 mm au sud (San Pedro, Coah.) La figure 1 donne la représentation des isohyètes d'après Garcia 1975, modifié. Pour la station de Ceballos, la moyenne annuelle des précipitations (1956-1983) est de 272,5 mm avec un coefficient de variation de 42 % pour un nombre annuel moyen de jours de pluie de 40 j. La moyenne pour la réserve est de 264,2 mm (période 1979-1984). La variabilité inter annuelle des précipitations est très élevée. La fréquence des années très déficitaires ($P < 180$ mm) est de 0,346 soit une périodicité d'une année tous les trois ans. La variabilité spatiale même sur de courtes distances est très forte; on a pu noter des différences de 30 % sur le total annuel pour des sites éloignés de moins de 10 km.

Le tableau 2 donne la répartition mensuelle moyenne des hauteurs de pluie en mm et du nombre de jours de pluie à Ceballos, période 1956-1983.

TABLEAU 2
REPARTITION MENSUELLE MOYENNE DES HAUTEURS DE PLUIE (Pm) EN MM
ET DU NOMBRE DE JOURS DE PLUIE (Nj) A CEBALLOS, PERIODE 1956-1983

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Pm	8,7	6,7	3,0	6,3	12,7	31,4	41,0	60,4	60,8	24,9	7,5	9,7
Nj	1,3	1,3	0,7	1,0	2,3	5,5	6,5	8,0	6,1	4,0	1,3	2,0

L'essentiel des précipitations se produit en été. Les pluies de juin à septembre inclus représentent 71% du total annuel. Les pluies d'hiver, de décembre à février représentent 9%, mais il existe une grande variabilité inter annuelle de cette répartition. En 1981, 62% des précipitations se sont produits en dehors de la période estivale. Les averses ont un caractère orageux, avec une forte intensité, mais elles sont généralement de courte durée et très localisées, correspondant à des averses journalières faibles : en moyenne, 60 % des averses journalières sont inférieures à 5 mm.

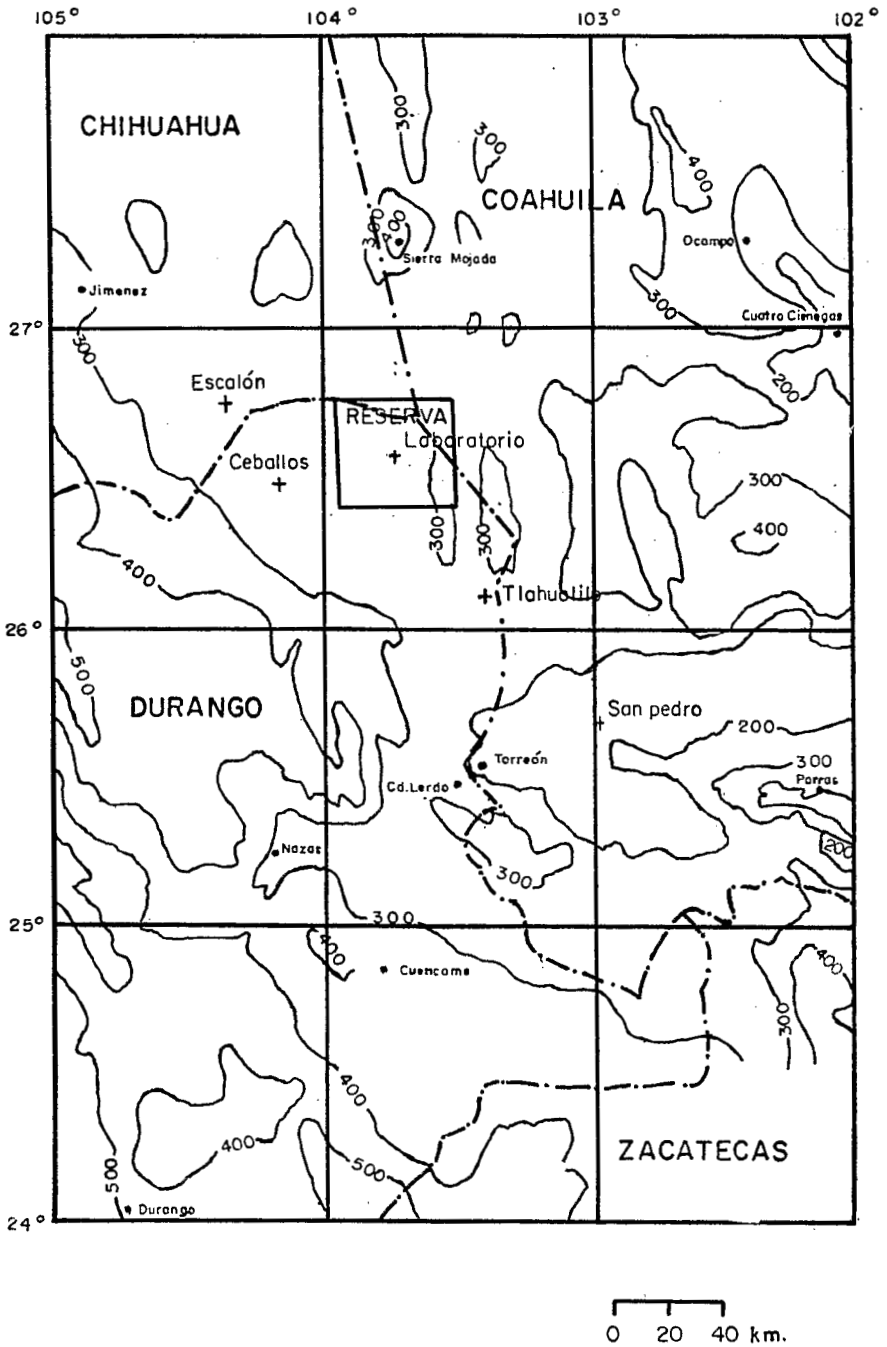


Fig. 1. Carte des Isoyètes d'après García (1975).

Pour quatre stations du Bolsón de Mapimi, l'analyse fréquentielle des précipitations décadaires a été effectuée grâce à un modèle ORSTOM d'analyse. Ce modèle est fondé sur l'ajustement aux données d'une loi de distribution de type "gamma incomplète" dont les paramètres sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. La figure 2 donne pour les 4 stations étudiées les courbes de fréquences relatives correspondant à des précipitations décadaires égales ou supérieures à 10, 20 ou 50 mm. L'allure des courbes montre nettement l'existence de deux périodes de précipitations : une période principale en été et une période secondaire beaucoup plus faible en hiver. La décennie pour laquelle les probabilités de pluies sont les plus fortes est la deuxième décennie d'août. Cependant pour celle-ci la probabilité d'avoir une hauteur décennale de pluie supérieure ou égale à 20 mm atteint seulement 0,52 à Escalon, 0,45 à Ceballos et 0,29 à San Pedro.

Evaporation et Période Humide

L'évaporation moyenne annuelle mesurée à partir d'un bac de classe A international est de 2805 mm pour le laboratoire du désert (1978-1984) et de 2504 mm pour Ceballos (1957-1983). Le calcul de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) par la méthode du bac corrigée (Riou 1975) et par la méthode de Penmann donne respectivement les valeurs moyennes annuelles de 2040 mm et de 1800 mm pour le laboratoire du désert. Les valeurs moyennes les plus faibles sont de 2,4 mm.j⁻¹ en janvier et les plus fortes de 8,2 mm.j⁻¹ en mai (ETP bac corrigé).

A partir des données décennales d'ETP et des probabilités décennales de pluie on peut déterminer les probabilités pour que les précipitations soient égales ou supérieures à ETP ou à une fraction d'ETP. Cependant, l'étude montre que, en raison de la forte variabilité des pluies, les courbes obtenues sont très irrégulières et les probabilités très faibles. Il n'est donc pas possible de définir une période humide par des probabilités significatives d'avoir des hauteurs de pluies supérieures à une fraction d'ETP. Cela montre le peu de signification que revêt ici la notion de période humide en relation avec la période de végétation. Celle-ci recoupe en effet plusieurs séquences humides de courte durée, mais de dates et de fréquence très aléatoires.

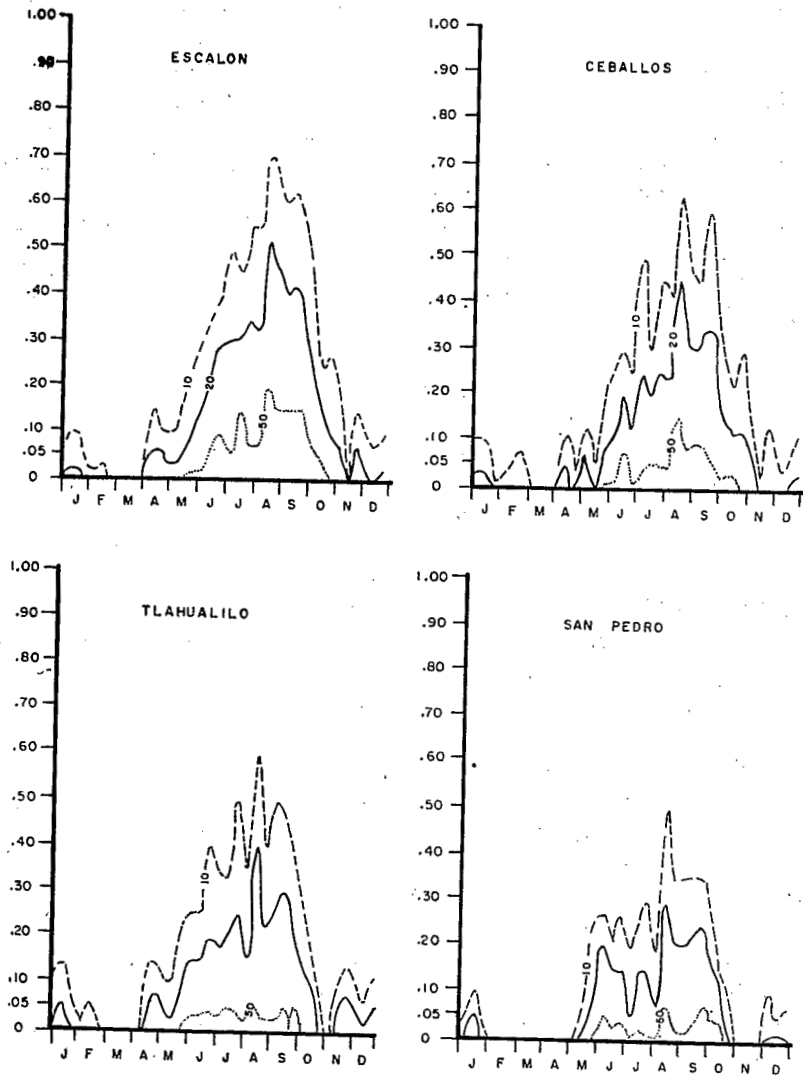


Fig. 2. Probabilités pour quatre stations d'avoir des précipitations décadaires supérieures ou égales à 10 mm, 20 mm, 50 mm.

Caractérisation du Climat et Classifications

Les aspects de classification climatique ne sont abordés que dans la mesure où ils permettent de situer la zone étudiée dans le cadre plus général des zones arides. Le tableau 3 montre la comparaison des valeurs de quelques indices d'aridité pour trois stations des zones arides et de domaines géographiques distincts.

TABLEAU 3
COMPARAISON DES VALEURS DE QUELQUES INDICES D'ARIDITE POUR TROIS STATIONS DES ZONES ARIDES ET DE DOMAINES GEOGRAPHIQUES DISTINCTS

Zone Géographique	Désert de Chihuahua	Zone Sahélienne Nord Sénégal	Tunisie Pré-Saharienne
Stations	CEBALLOS	PODOR	GABES
Précipitation annuelle	272 mm	300 mm	187 mm
Indice d'aridité de MARTONNE	8.7	7.8	5.1
Quotient pluviothermique d'EMBERGER	2.2	1.4	1.5
Indice d'aridité UNESCO, 1977	0.16	0.14	0.15
Classification UNESCO	climat aride hiver frais été chaud pluies d'été 8 à 9 mois de saison sèche	climat aride hiver chaud été chaud pluies d'été 8 à 9 mois de saison sèche	climat aride hiver tempéré été chaud pluies d'hiver 8 à 9 mois de saison sèche

Pour caractériser de manière assez complète mais concise le climat de la réserve de la biosphère de Mapimi, on peut le décrire comme: "Climat tropical aride, à tendance continentale, de moyenne altitude, à pluies d'été et à hiver frais".

Bibliographie

- Cornet, A.** 1984. Análisis de los datos climáticos de la station Laboratorio del Desierto, reserva de la biosfera de Mapimí, Durango, México. Doc. Tec. Instituto de Ecología México, 35 p.
- Cornet, A.** 1988. Principales caractéristiques climatiques. *In*: Montaña C. (Ed.) Estudio integrado de los recursos, vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México: 45-77.
- García, E.** 1975. Climas : Precipitación y Probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación. Inst. de Geografía UNAM. Comisión de Estudios del Territorio Nacional, México.
- Riou, Ch.** 1975. La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique centrale. Mém. ORSTOM, 80, 236 p.
- Schmidt, R. H., Jr.** 1983. Climate and the Chihuahuan Desert. Natural resources and renewable resources and development. *In*: Campos, E. and Anderson, R. J. (Ed.) Arid regions. West View Press, Boulder, Col. : 35-52.
- UNESCO** 1977. Carte de la répartition mondiale des régions arides. Note technique du MAB 7, UNESCO, Paris, 55 p.
- Vilchis Marín, A.** 1979. Estudio climático del Bolsón de Mapimí. Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 136 p.
- Vilchis Marín, A.** 1981. Las precipitaciones en el Bolsón de Mapimí y los estados atmosféricos que determina. Instituto de Ecología, México, 63 p.

EL MEDIO VEGETAL

Ma. Eugenia Maury

La reserva Mapimí se encuentra situada dentro de la Provincia Biótica de la Altiplanicie Mexicana, en la región xerófila descrita por Rzedowski (1978), la vegetación está constituida por matorrales xerófilos en los cuales existe una marcada variación en su composición y fisonomía, así como también en sus características de relieve y de suelo. El matorral xerófilo presenta una gran cantidad de endemismos y de especies arbustivas micrófilas que le dan la fisonomía de matorral.

La vegetación en la reserva Mapimí en general está caracterizada por matorrales rosetófilos, magueyal (*Agave asperrima*), crasicales, nopalera (*Opuntia spp*) y micrófilo inerme, gobernadora (*Larrea tridentata*), también es muy común en este tipo de vegetación encontrar grandes extensiones de pastizal de sabaneta (*Hilaria mutica*).

La vegetación de la reserva ha sido descrita por varios autores, Martínez y Morello (1977) describen una área pequeña situada en la zona núcleo, uno de los objetivos fue dar una base a los estudios faunísticos, tomando como base una toposecuencia o gradiente altitudinal (cerro-bajada-playa), describen nueve unidades basadas en la estructura de las especies dominantes y en el componente florístico :

Unidad 1. *Jatropha dioica*, *Larrea tridentata* con *Selaginella lepidophylla*.

Unidad 2. *Euphorbia antisyphilitica*, *Larrea tridentata* y *Fouquieria splendens* (candelillar).

Unidad 3. *Larrea tridentata*, *Agave asperrima* (magueyal).

Unidad 4. *Agave lecheguilla*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* (lechuguillar).

Unidad 5. *Opuntia rastrera*, *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia* (nopalera).

Unidad 6. *Larrea tridentata* (matorral de gobernadora).

Unidad 7. *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *Celtis pallida* y *Acacia greggii*. (mezquital).

Unidad 8. *Opuntia bradtiana*, *Larrea tridentata*, *Agave lecheguilla* y *Hechtia glomerata*.

Unidad 9. *Hilaria mutica* (pastizal de sabaneta).

Posteriormente Breimer (1985) y Montaña y Breimer (1988), describen la vegetación tomando en cuenta la geomorfología y el tipo de suelo, abarcando toda la reserva de Mapimí y reconocen 7 zonas o unidades (Fig. 1).

Unidad 1. Bajadas y sierras calcáreas de origen sedimentario, la vegetación se presenta en manchones densos de arbustos y por matorrales abiertos. En los cerros la vegetación está dominada por arbustos y suculentas como *Fouquieria splendens*, *Agave lecheguilla*, *Hechtia glomerata*, *Jatropha dioica*, *Euphorbia antisyphilitica* y *Opuntia bradtiana*. En el pie de monte se aprecian los matorrales de *Larrea tridentata*, *Fouquieria splendens*, *Acacia constricta* y *Cordia parvifolia*.

En las lomas los matorrales más característicos son de *Larrea tridentata*, *Fouquieria splendens*, *Acacia constricta* y *Cordia parvifolia*, al igual que en la bajada superior, mientras que en la bajada inferior se presentan matorrales densos dominados por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua*, rodeados por un matorral abierto de *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*.

Unidad 2. En las bajadas y cerros de origen ígneo y sedimentario, la vegetación consiste en matorrales, generalmente con abundancia de especies suculentas. En los cerros la vegetación está constituida por matorrales de *Larrea tridentata* y *Fouquieria splendens*, especies dominantes, asociadas a suculentas como *Agave asperrima*, *A. lecheguilla*, *Opuntia rastrera* y *O. microdasys*.

En el pie de monte los arbustos más característicos son *Cordia parvifolia*, *Larrea tridentata*, *Buddleja marrubifolia*, *Acacia constricta*. En las lomas y bajada superior la vegetación dominante es de *Larrea tridentata*, *Fouquieria splendens*, algunas ocasiones hay comunidades donde *Opuntia rastrera* es la especie dominante.

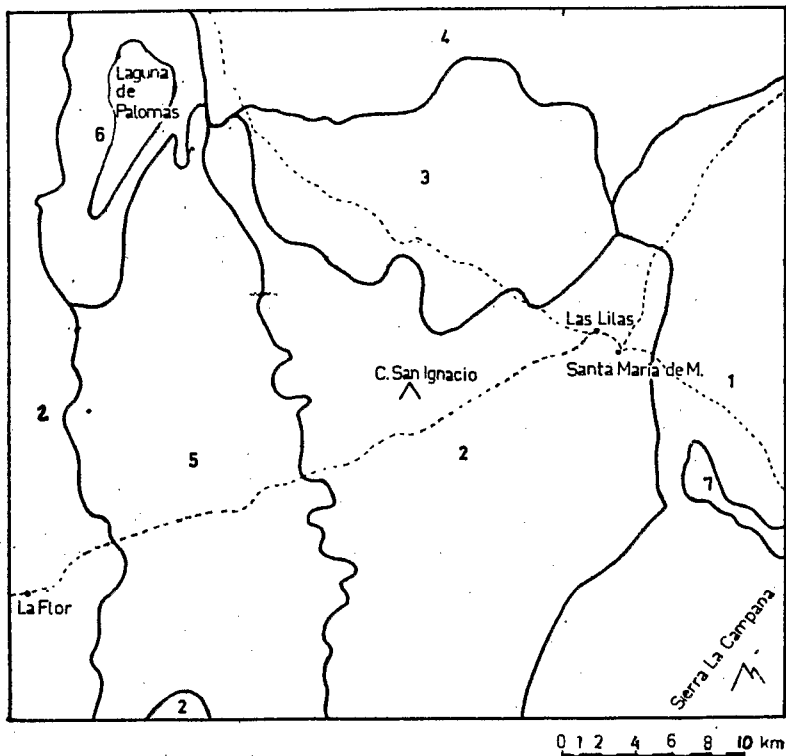


Fig. 1. Zonas ecológicas de la reserva de Mapimí (tomado de Breimer, 1985). 1. Zona calcárea. 2. Bajadas y cerros de origen ígneo y sedimentario. 3. Zona de transición eólica-fluvial. 4. Zona de dunas. 5. Playa sur. 6. Playa norte. 7. Zona de lava basáltica.

En la bajada inferior se forman agrupaciones de herbáceas y arbustos, áreas denominadas localmente como mogotes, donde se presentan como especies dominantes *Hilaria mutica*, *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *Flourensia cernua*, *Lippia graveolens*, *Aloysia gratissima*. También en esta zona se encuentran matorrales abiertos de *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata*, así como varias especies de cactáceas.

Unidad 3. Es una zona de transición eólica fluvial, la bajada arenosa presenta cubiertas con arcos de vegetación y de deflación en general desprovistas de vegetación. Los arcos de vegetación están constituidos por *Hilaria mutica*, *Opuntia rastrera* y *Prosopis glandulosa*, aleaña a ésta hay un matorral abierto dominando *Larrea tridentata*.

Unidad 4. En la zona de dunas, la vegetación en las partes altas está dominado por *Dalea scoparia* y *Yucca elata*, con diferentes combinaciones de *Acacia greggii*, *A. constricta*, *Lycium berlandieri* y *Larrea tridentata*. En el área interdunas hay matorrales dominados por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua* algunas veces el estrato herbáceo esta dominado por *Hilaria mutica*.

Unidad 5. Localizada en la zona denominada playa sur, esta constituida por pastizales que presentan una cobertura variable de arbustos o matorrales abiertos, los pastizales son de *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides*, asociados con *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *Suaeda nigrescens* y *Atriplex canescens* y/o *A. acanthocarpa*. En esta playa se localiza al este el cauce del arroyo La Vega, en el cual las especies dominantes son *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* y *Baccharis glutinosa*.

Unidad 6. Se encuentra en la zona playa norte, la vegetación es semejante a la anterior, se presentan las mismas especies en los pastizales, sin embargo al este de la Laguna de Palomas se localizan las dunas fósiles cuya vegetación esta formada por *Haplopappus heterophyllus* y *Larrea tridentata*.

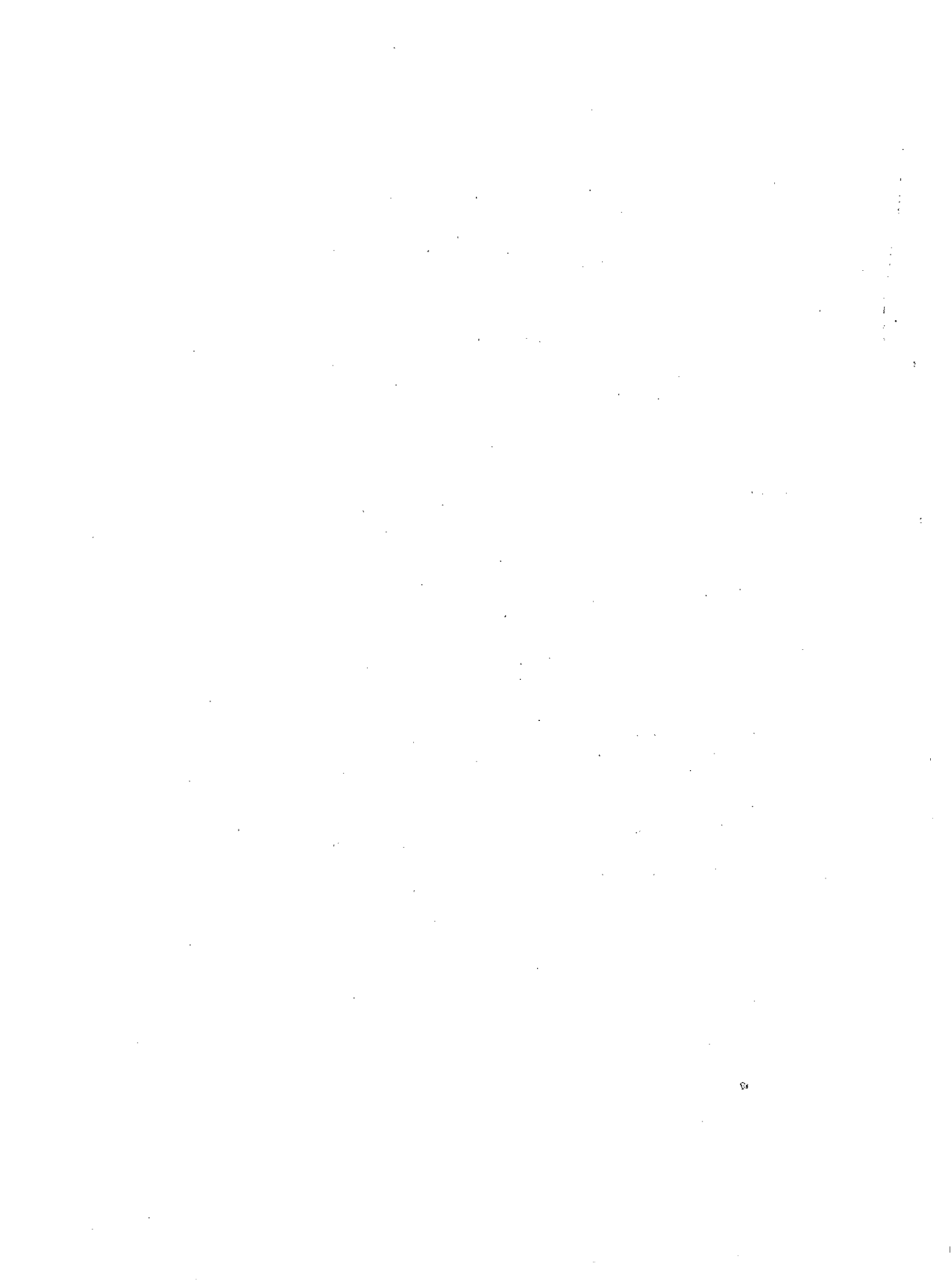
Unidad 7. Es una zona de lava basáltica, la vegetación dominante es de leñosas y suculentas tales como *Larrea tridentata*, *Fouquieria splendens*, *Opuntia rastrera* y *Yucca torreyi*.

Otros trabajos mas específicos sobre la vegetación de la reserva de Mapimí son el de Cornet (1985), que describe las cactáceas de la reserva. Ruíz de Esparza (1986) quien elaboró un inventario florístico de la reserva,

indicando su forma de vida, nombres y usos locales. Montaña (1988), describe la vegetación sobre la base de estratificación y cobertura, además presenta la cartografía de la vegetación (escala 1:100,000) y también hace un análisis fitoecológico.

Literatura citada

- Breimer, R.** 1985. Soil and landscape survey of the Mapimí biosphere reserve Durango, Mexico. UNESCO-MAB. Montevideo. 128 p.
- Cornet, A.** 1985. Las cactáceas de la reserva de la biosfera de Mapimí, Durango. Publ. 18. Instituto de Ecología, México, 51 p.
- Martínez, O.E. y J. Morello.** 1977. El medio físico y las unidades fisonómico-florísticas del Bolsón de Mapimí. Publ. 3, Instituto de Ecología, México. 60 p.
- Montaña, C.** 1988. La vegetación y sus relaciones con el ambiente. 199-227. *In:* C. Montaña (Ed.). Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí. I Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Montaña, C.** 1988. Las formaciones vegetales. 167-197. *In:* C. Montaña (Ed.). Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí. I Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Montaña, C. y R. Breimer.** 1988. Major vegetation and environment units. pp 99-134. *In:* Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí. I Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Ruiz de Esparza, R.** 1986. Inventario de los recursos florísticos de la reserva de la biosfera de Mapimí. Tesis Profesional, Univ. Autónoma de Guadalajara. 145 p.
- Rzedowski, J.** 1978. Vegetación de México. Limusa. 432 p.



ESTUDIOS FAUNISTICOS

Gustavo Aguirre
Ma. Eugenia Maury

Resumen

Las investigaciones sobre fauna en la reserva de Mapimí fueron planeadas para contribuir a conservar el acervo genético de una zona representativa del Desierto Chihuahuense. Además del inventario de recursos que resulta de estos estudios, se han desarrollado 3 líneas de investigación : a) *Estructura y funcionamiento de la comunidad de vertebrados*. Estos estudios han permitido determinar densidad, natalidad, mortalidad, fecundidad y variaciones estacionales de poblaciones de pequeños mamíferos, aves y reptiles. El análisis de estos factores ha mostrado aspectos del funcionamiento de las comunidades relacionados con la utilización diferencial de un habitat espacial y estructuralmente heterogéneo. b) *Conservación de especies en peligro*. Los estudios se han centrado en la tortuga de Mapimí (*Gopherus flavomarginatus*), cuya disminución poblacional ha sido el resultado de un proceso influido por cambios climáticos y por el incremento en su utilización como alimento por parte de los pobladores locales. El venado bura (*Odocoileus hemionus*) especie cinegética sobreexplotada, ha sido estudiado en lo referente a distribución y hábitos alimentarios. c) *Estructura de la comunidad de invertebrados*. Los estudios se han centrado en la determinación de formas de vida y ecología trófica de grupos dominantes de artrópodos eptéicos.

Résumé

Les recherches sur la faune dans la réserve de Mapimí furent planifiées pour contribuer à conserver le patrimoine génétique d'une zone représentative du désert de Chihuahua. De plus, de l'inventaire des ressources qui résulte de ces études, ont été définies trois lignes de recherche : a) *Structure et fonctionnement de la communauté des vertébrés*. Ces études ont permis de déterminer la densité, la natalité, la mortalité, la fécondité et les variations saisonnières des populations de petits mammifères, oiseaux et reptiles. L'analyse de ces facteurs a démontré les aspects du fonctionnement des communautés en relation avec l'utilisation différentielle d'un habitat spatial et de structure hétérogène. b) *Conservation d'espèces en danger*. Les études se sont concentrées sur la tortue de Mapimí (*Gopherus flavomarginatus*), la diminution de sa population est due au résultat d'un processus influencé par des changements climatiques et par l'accroissement de son utilisation comme aliment par une partie des populations locales. Le cerf bura (*Odocoileus hemionus*) espèce cynégétique surexploitée, fut étudié au niveau de sa distribution et de ses habitudes alimentaires. c) *Structure de la communauté d'invertébrés*. Les études ont été concentrées sur la détermination des formes de vie et de l'écologie trophique de groupes dominants d'arthropodes épiéiques.

Abstract

Faunistic studies in the Mapimí Reserve were planned to contribute to the conservation of genetic resources of a representative area of the Chihuahuan Desert. Three research orientations have been made operative : a) *Structure and dynamics of the vertebrate community*. These studies have focused on the determination of demographic parameters such as densities, natality, mortality, fecundity and seasonal variations in populations of small mammals, birds and reptiles. Analyses of these parameters have shown aspects of community functioning related to differential use of a spatial and structural heterogeneous habitat. b) *Conservation of endangered species*. Studies have been focused on the bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*). Populations of this species have been depleted by the combination of climatic factors and increased use by locals as food. Distribution and diet of mule deer (*Odocoileus hemionus*), an overexploited species, have been also studied. c) *Invertebrate community structure*. Studies have been centered in determining life forms and trophic ecology of dominant groups of epigeal arthropods.

Introducción

El manejo y conservación de recursos bióticos, para estar basados en decisiones adecuadas, requiere de información global sobre los ecosistemas. La dicotomía básica subyacente en esta idea consiste, por un lado, en el manejo para mantener la diversidad de especies, y por el otro, en el manejo dirigido hacia una especie en particular. Ambos puntos de vista no son excluyentes. En otras palabras, no se puede conservar y manejar especies sin hacer lo mismo con el ecosistema. Esta concepción de la conservación comprende tanto la preservación de la representatividad adecuada de la diversidad biológica de un espacio determinado, como el uso racional de los recursos que quedan fuera de las áreas protegidas.

En el caso de la protección y conservación de especies en situación crítica o vulnerable es particularmente importante la participación y apoyo de núcleos de población local, lo cual se garantiza en gran medida cuando se hace palpable la contribución de una reserva en el desarrollo de conocimientos, tecnología y políticas que tengan probabilidad de incidir en el manejo racional, no sólo de la fauna, sino también de otros recursos bióticos y abióticos.

Los estudios ecológicos sobre la fauna realizados en la reserva de Mapimí han incluido tres enfoques: estudios sobre la estructura y funcionamiento de la comunidad de vertebrados; estudios ecológicos sobre invertebrados, y el diseño y operación de programas de conservación y protección de especies de vertebrados en peligro.

Estudios sobre la comunidad de vertebrados

Las investigaciones realizadas en este aspecto han permitido realizar un primer análisis global sobre la organización funcional de la comunidad de vertebrados del Bolsón de Mapimí. Los estudios de inventario han permitido reconocer alrededor de 270 especies de vertebrados, cinco de anfibios, 36 de reptiles, 28 de mamíferos y aproximadamente 200 de aves. Los trabajos, iniciados en 1976, se han centrado en el estudio de las relaciones de nicho con los parámetros de tiempo, hábitat y alimento, y han permitido identificar factores primarios que influyen sobre la composición y dinámica de esta comunidad y que se expresan en la utilización diferencial de un hábitat estructural y espacialmente heterogéneo definido por las fluctuaciones en la disponibilidad de recursos (Barbault y Halffter, 1981; Barbault y Maury, 1981; Baudoin *et al.*, 1990; Aragón *et al.*, en prensa).

Estos estudios también se han enfocado hacia la determinación de las variaciones estacionales en la estructura de la comunidad, incluyendo la evaluación de la composición específica, densidad y riqueza y diversidad de especies. Además de brindar una apreciación de la estructura de la comunidad, estos trabajos han permitido tener también una apreciación de las estrategias adaptativas al ambiente árido en términos de fluctuaciones estacionales de las poblaciones, cambios en la distribución y la densidad relativa, ciclos reproductivos, estructura social y comportamiento (Baudoin *et al.*, 1990; Aguirre *et al.*, 1987; Serrano 1987; Garza, 1988).

Aún cuando existen diferencias entre las comunidades de cada grupo de vertebrados, se han identificado patrones compartidos de organización para todas ellas (Barbault y Maury, 1981; Grenot y Serrano, 1981; Maury, 1981; Necedal, 1980; Serrano, 1987). Entre los más sobresalientes podemos citar :

- 1) Las comunidades aparecen divididas en diferentes subgrupos a lo largo de un gradiente topográfico bajada-playa. A su vez las especies coexistentes de cada subgrupo están separadas por la utilización diferencial del microhábitat, lo cual está en relación directa con la heterogeneidad espacial y estructural del ambiente y su impredecibilidad.

- 2) La diversidad de especies es mayor en las áreas de bajada que de playa, lo cual está relacionado con una estructura más compleja de la vegetación en la zona de bajadas. Las variaciones en diversidad específica y densidad poblacional a lo largo del gradiente bajada-playa están en relación directa con la precipitación y la productividad primaria, así como

con la heterogeneidad del hábitat y con la riqueza y diversidad específicas de la vegetación.

Estos estudios permiten describir los patrones de reparto de recursos dentro de la comunidad de vertebrados y muestran que esta comunidad está estructurada de manera primordial por la dinámica, producto de un ambiente heterogéneo y la alta variabilidad en clima y en productividad. La contribución de interacciones bióticas es probablemente también un factor primario en la organización de la comunidad. La continuación de los estudios sobre vertebrados en Mapimí esta orientada a resolver estas interrelaciones.

Estudios ecológicos sobre invertebrados

En las zonas áridas los invertebrados representan una comunidad con una gran variabilidad de interacciones desde el punto de vista trófico. De los trabajos sobre fauna de invertebrados realizados en la reserva, los artrópodos e insectos epigeos han sido los principales sujetos de estudio (Otero, 1985; Rivera, 1986; Rivera, 1988a; Rivera, 1988b; Rivera, 1989; Rojas, 1988).

Los trabajos se han organizado en dos niveles : el primer nivel comprende el análisis de la comunidad de artrópodos epigeos de acuerdo con los siguientes objetivos : a) determinar su distribución espacial en las principales unidades de geomorfología y vegetación; b) determinar la estacionalidad de esta fauna; c) establecer sus afinidades ecológicas; d) estimar el aporte de biomasa; e) determinar la estructura trófica de la comunidad con énfasis en los insectos herbívoros.

El segundo nivel comprende la determinación de la distribución espacial y estacional, dinámica espacial y factores de agregación, ritmos de actividad diaria y estacional, así como la utilización de recursos por grupos de insectos de particular interés agrostológico (acrídidos y formicidos) debido a su potencial efecto sobre la productividad primaria neta de los pastizales y sobre la dispersión y germinación de semillas de gramíneas forrajeras.

Conservación de especies en peligro

Dentro del ámbito de los estudios sobre vertebrados que se realizan en Mapimí se han dedicado esfuerzos a la conservación y protección de dos especies : la tortuga de Mapimí, endémica de la subprovincia de Mapimí

(*sensu* Morafka, 1977), y el venado bura, especie cinegética sobreexplotada.

Uno de los programas iniciales en la reserva fue el de conservación y recuperación de la tortuga de Mapimí, *Gopherus flavomarginatus*. Los estudios sobre este reptil fueron iniciados en 1978, dos años después de establecida la reserva. La investigación persigue el establecimiento y continuidad de un programa de protección basado en la evaluación del éxito reproductivo de la especie en poblaciones de vida libre, por lo general de baja densidad, y sujetas a altas presiones de depredación natural y humana así como a la degradación del hábitat. El área de la reserva coincide con uno de los fragmentos importantes que componen la reducida área de distribución de esta especie en peligro. Esta distribución parece reflejar en mayor medida las presiones de selección humanas que las barreras y condiciones ecológicas limitantes. La disminución de las poblaciones de tortuga ha sido un proceso gradual en el pasado involucrando importantes cambios climáticos y utilización creciente por el hombre como fuente de proteínas (Adest *et al.*, 1989a). Los grupos humanos recolectores y cazadores de zonas áridas de Norteamérica tienen una historia bien documentada sobre la utilización que hacían de la fauna nativa (Martin, 1984). Bajo estas condiciones, la supervivencia de la especie se debió probablemente a sus hábitos subterráneos. La presión humana, directa e indirecta, ha continuado hasta la actualidad. Durante el siglo pasado, el área de distribución de la tortuga debe haberse reducido entre 30 y 50 % hasta alcanzar la limitada extensión que hoy se conoce (Bury *et al.*, 1988). Durante el presente siglo, su densidad de población debe haber sido reducida en un 60 a 80 % (Morafka, 1988; Adest *et al.*, 1989a).

La reserva protege varias poblaciones reproductoras de tortuga y es el sitio primario para su estudio. Las consideraciones para decidir los pasos y operación de un plan de manejo han tenido como fundamento el estudio de la ecología de la especie y la accesibilidad de los pobladores locales como participantes directos y promotores del programa. La evolución favorable de estos dos aspectos permitió que a partir de 1983 se iniciara un programa de recuperación de nidadas en la reserva, incluyendo incubación controlada y operación de un criadero en condiciones de cautiverio (Adest *et al.*, 1989b). Actualmente los estudios se encuentran centrados en el monitoreo de tasas de supervivencia de animales de criadero liberados en terrenos de la reserva.

Los estudios del venado bura han estado orientados a conocer aspectos de su biología tales como distribución en la reserva, dieta y posible competencia con el ganado y con los herbívoros nativos (Guth, 1987). La

colaboración local también ha sido decisiva para disminuir de manera importante la cacería indiscriminada.

Este mamífero, considerado como la especie cinegética por excelencia en las zonas áridas de México, ha sido un recurso intensamente explotado. Aunque de amplia distribución en el país, las poblaciones viables que aún prosperan están sujetas a una acelerada disminución y el consenso general apunta hacia la necesidad de proteger a la especie de la cacería excesiva y establecer programas efectivos de manejo dadas las bondades de su relativamente alto potencial biótico.

El estudio del venado en una reserva de biosfera cumple con el objetivo de realizar investigación para proporcionar las bases científicas para el manejo planificado de recursos naturales, manteniendo un alto rendimiento con un mínimo impacto ecológico.

Conclusión

Los esfuerzos realizados en los programas descritos pueden considerarse un avance significativo en cuanto a la protección de la fauna en asociación con nuevas alternativas para la conservación y manejo del medio ambiente. No obstante, no debe perderse de vista que gran parte de estos recursos siguen estando amenazados, y que los habitats naturales han sido profundamente transformados en tiempos recientes. En el contexto latinoamericano de la protección de los recursos bióticos, México aparece en el décimo sitio, en términos de la superficie protegida, y en el vigésimo lugar en cuanto al porcentaje del territorio dedicado a conservar los recursos bióticos (Maury, 1988).

La investigación científica en las zonas áridas de México, y en particular del Desierto Chihuahuense fue iniciada alrededor de 1940, al ser creadas las primeras entidades federales dedicadas al estudio de estos ecosistemas. Desde entonces, otras 15 organizaciones han entrado en operación cubriendo un espectro razonablemente amplio de la ciencia y la tecnología de las zonas áridas (CONACYT, 1983; UNEP, 1986). Sin embargo, la reserva de Mapimí es la única área protegida en la porción mexicana del Desierto Chihuahuense que opera bajo los lineamientos del Programa Hombre y Biosfera de UNESCO.

En la actualidad, el país enfrenta los problemas simultáneos de adoptar cambios estructurales que garanticen el crecimiento a largo plazo y de prever los impactos sobre los recursos naturales asociados a este

crecimiento. Siendo frágil la situación de muchas ecosistemas, en los últimos años ha habido una tendencia por parte del sector gubernamental para ampliar y fortalecer un sistema de áreas protegidas a nivel nacional.

Las soluciones a estos retos no se basan en sacrificar el desarrollo sino en reforzar y promover las alternativas que demuestren su potencialidad para contribuir a prevenir el desequilibrio ecológico (Halffter, 1988). Los trabajos desarrollados en Mapimí han dado especial énfasis a un esquema de investigación que contribuya a la propuesta de alternativas que incidan en la elaboración de medidas para conservar los recursos naturales y el acervo genético de una zona representativa del Desierto Chihuahuense.

Literatura citada

- Adest, G.A., G. Aguirre, D.J. Morafka y J.V. Jarchow. 1989a. Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*) conservation. I. Life History. *Vida Silvestre Neotropical* 2(1): 7-13.
- Adest, G.A., G. Aguirre, D.J. Morafka y J.V. Jarchow. 1989b. Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*) conservation. II. Husbandry and reintroduction. *Vida Silvestre Neotropical* 2(1): 14-20.
- Aguirre, G., G. Adest, D. Morafka y R. González. Características reproductivas de la tortuga de Mapimí. Resúmenes 1987 Joint Annual Meeting SSAR-HL-CHN: 47.
- Aragón, E., N. Millán y C. Baudoin. Ciclos de actividad y organización espacial de las ardillas *Spermophilus spilosoma* y *S. mexicanus* (Rodentia: Sciuridae) en el Desierto Chihuahuense, México, *In*: G. Ceballos, R. Medellín, A. Miranda, D. Navarro y O. Sánchez (Eds.). Mastozoología en México. En prensa.
- Barbault, R. y G. Halffter. 1981. A comparative and dynamic approach to the vertebrate community organization of the Desert of Mapimi (Mexico) pp. 11-18. *In*: R. Barbault y G. Halffter (Eds.). Ecology of the Chihuahuan Desert. Organization of some vertebrate communities. Publ. 8, Instituto de Ecología, México.
- Barbault, R. y M.E. Maury, 1981. Ecological organization of a Chihuahuan Desert lizard community. *Oecología* (Berlin) 51: 335-342.
- Baudoin, C., G. Arnaud, N. Millán, E. Aragón y A. Demouron. 1990. Etude expérimentale de l'adaptabilité de deux espèces sympatriques de *Spermophilus* aux variations d'environnement pendant la période hivernale. Conséquences possibles sur leur répartition dans le désert du Chihuahua (Durango, Mexico) *In*: R. Chabaud, (Ed.) Le rongeur et l'espace.
- Bury, R.B., D.J. Morafka y C.J. McCoy, 1988. Distribution, abundance and status of the Bolson Tortoise. part I. pp 5-30 *In*: D. Morafka and C.J. McCoy. (Eds.) The ecogeography of the Mexican Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*): derivation of its endangered status and recommendations for its conservation. Ann. Carnegie Mus. 57.

- CONACYT.** 1983. Catálogo de Centros e Institutos de Investigación Científica en México. México, D.F.
- Garza, A.** 1988. La teoría del forrajeo del lugar central de Orians y Pearson (1979) en *Campylorhynchus brunneicapillus* (Aves: Troglodytidae). Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM. México, D.F. 100 p.
- Guth, A.M.** 1987. Hábitos alimenticios del venado bura (*Odocoileus hemionus* Rafinesque 1817) en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Dgo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Grenot, C. y V. Serrano.** 1981. Ecological organization of small mammal communities at the Bolson de Mapimí. pp 89-100. In: R. Barbault y G. Halffter (Eds). Ecology of the Chihuahuan Desert. Organization of some vertebrate communities. Publ. 8, Instituto de Ecología, México.
- Halffter, G.** 1988. El concepto de reserva de la biosfera. pp 19-44. In: C. Montaña (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Lieberman, S. and D.J. Morafka.** 1988. Ecological distribution of the Bolson tortoise. Part II. pp 31-46. In: D. Morafka and C.J. McCoy (Eds.) The ecogeography of the Mexican Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*): derivation of its endangered status and recommendations for its conservation. Ann. Carnegie Mus. 57.
- Maury, M.E.** 1981. Variability of activity cycles in some species of lizards in the Bolson de Mapimi (Chihuahuan Desert, Mexico). pp 101-118. In: R. Barbault y G. Halffter (Eds.) Ecology of the Chihuahuan Desert. Organization of some vertebrate communities. Publ. 8, Instituto de Ecología, México.
- Maury, M.E.** 1988. Reservas de la Biosfera en México. Ambiente 59: 4-8.
- Martin, P.** 1984. Prehistoric overkill: the global model. pp 354-503. In: P.S. Martin y R.G. Klein (Eds.) Quaternary Extinctions University of Arizona Press, Tucson.
- Morafka, D.J.** 1977. A biogeographical analysis of the Chihuahuan Desert through its herpetofauna. Biogeographica XI. Dr W. Junk, B. V. Publ. The Hague.
- Morafka, D.J.** 1988. Historical biogeography of the Bolson Tortoise. pp 47-72. Part III. In: D. Morafka and C.J. McCoy (Eds.) The ecogeography of the Mexican Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*): derivation of its endangered status and recommendations for its conservation. Ann. Carnegie Mus. 57.
- Nocedal, J.** 1980. Dynamics of bird communities in southern Chihuahuan Desert. Abstracts of 98th AOU Meeting: 61.
- Otero, G.** 1985. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Reserva del Bolsón de Mapimí y distribución de recursos dentro del guild de hormigas granívoras: datos preliminares en México. Folia Ent. Mex. 48: 19-20.

- Rivera, E.** 1986. Estudio faunístico de los Acridoidea de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Dgo., México. Acta Zool. Mex. (n.s.) 14: 1-42.
- Rivera, E.** 1988a. Utilización de arbustos como sitios de descanso por *Taeniopoda eques* (Burmeister) (Orthoptera: Romaleidae) en el Desierto Chihuahuense. Acta Zool. Mex. (n.s.) 25: 34-41.
- Rivera, E.** 1988b. Actividad diurna de *Taeniopoda eques* (Burmeister) (Orthoptera: Romaleidae) en el Bolsón de Mapimí, Dgo., México. Folia Ent. Mex: 75: 5-15.
- Rivera, E.**, 1989. Utilización de recursos alimenticios por acrididos en pastizales áridos del Bolsón de Mapimí, Dgo., México. Tesis maestría, Colegio Postgraduados, Univ. Auton. Chapingo, México.
- Rojas, P.** 1988. El género *Pogonomirmex* Mayr (Hymenoptera: Formicidae) en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Dgo. Resúmenes XXIII Congreso Nal. Entomología. pp. 127-128.
- Serrano, V.** 1987. Las comunidades de roedores desérticos del Bolsón de Mapimí. Acta Zool. Mex. (n.s.) 20: 1-25.
- UNEP.** 1986. Annotated directory of organizations dealing with desertification control and dryland development. Desertification Control Programme Activity Centre. Nairobi.

EL CAMPO Y LAS COMUNIDADES RURALES

Andrea Kaus

A primera vista, el área del Bolsón de Mapimí donde esta ubicada la reserva no parece un lugar en el cual sea posible platicar jamás de la presencia del hombre. Es un lugar descrito por literatura como un yermo y por la gente de los alrededores como una tierra brava y dura, inhóspita para lo seres humanos excepto para aquellos que viven en la leyenda. Se dice también que la gente que vive ahora en el Bolsón esta aislada, ganándose la vida difícilmente y a un nivel años atrás de la de los pueblos de la región. Sin embargo, con una inspección más cercana, se hace patente la continua presencia humana en estas tierras a lo largo de los siglos. La ocupación prehistórica e histórica es evidente por los artefactos de piedra, las pinturas rupestres y los vestigios de haciendas antiguas. Los cascos de las casas viejas, los corrales de piedra y las norias asociadas todavía suministran el fundamento físico a las pequeñas comunidades dispersas ahora por la reserva. El sistema de cercos y la red de veredas, caminos y brechas dan cuenta del uso humano actual.

Además, los que usan esta tierra, lejos de estar atrasados, explotan, favorable o desfavorablemente para el medio ambiente, los recursos locales y las oportunidades de la región, integrándose de este modo en los mercados nacional e internacional. Es cierto que están aislados y no tienen los medios de los pueblos y ciudades, como electricidad, agua corriente, ni información al día. Para las mujeres, especialmente, la vida es dura por el problema de falta de escuelas y de servicios médicos para los niños. Por otro lado, los hombres que ya llevan muchos años viviendo en el área señalan que la vida es muy tranquila y pacífica en el campo y que conservan, en medio de este mundo moderno, las tradiciones que se han perdido ya en los pueblos y ciudades. Junto con esto está el orgullo de haber podido aguantar durante años a pesar del medio ambiente, pues aunque el desierto es duro, ellos son aún más resistentes.

De las múltiples formas de utilizar una zona árida, las que se usan en el área de la reserva hasta la zona de influencia son la cría de vacunos y equinos, la recolección de la candelilla para la cera, la extracción de sal de la Laguna de Las Palomas, y la agricultura temporal. En las afueras de la reserva, además, se encuentran zonas de minería, agricultura de riego, cría

de caprino y, dentro de la propia reserva, se han hecho exploraciones petrolíferas. Sin embargo, es sobre todo el vaquero, el caballo y el ganado los que dominan el paisaje.

En relación con la ganadería, es posible hablar de cuatro principales maneras en las que la gente local ajusta su vida y labores al medio ambiente : el manejo del agua, de los pastos, de los animales mismos y la distribución de habitantes en el área. Los arriba mencionados no son sistemas aislados, al contrario, cada uno está entretelado con los otros. El enfoque de este trabajo se centra en este último aspecto, la descripción de la composición de las comunidades.

El área que corresponde a la zona núcleo y de amortiguación de la reserva contiene la tierra utilizada por la gente de 10 comunidades, no todas las cuales se ubican dentro de estas zonas. Tampoco corresponden estas unidades de producción exactamente con las unidades de tenencia de la tierra. Actualmente hay seis ejidos y dos propiedades privadas. Las comunidades se encuentran aisladas, ubicadas más en relación al agua o a los pastos disponibles que a la proximidad de los pueblos de los alrededores. Están conectadas entre ellas mismas y el exterior por caminos de tierra o por vía de ferrocarril.

Las comunidades tienen una población muy fluída, de 1 a 10 familias por comunidad, siendo el factor determinante las migraciones. No quiero decir que el ir y venir de la gente sean adaptaciones directas a los aspectos biológicos del medio ambiente, sino, más bien, que son reacciones a las limitaciones de los recursos de agua y pastos en una zona árida y a las probabilidades de ganarse la vida satisfactoriamente en estas circunstancias. En relación a la emigración, salen por oportunidades de trabajo en otros lados, para aprovechar los medios de los pueblos, o para salirse del campo. No todo el mundo tiene afinidad con el desierto. Para las mujeres, la razón dada más frecuentemente es el tener los niños en las escuelas del pueblo. El resultado es una sociedad con predominio de hombres durante la mayor parte del año, formada por lo que han decidido dedicar sus labores al campo a pesar de las inconveniencias.

Los que quedan siempre forman un grupo clave. Aunque el flujo de gente en general da la ilusión de una población transitoria, el grupo de individuos más fijos en el área forma la estructura básica de establecimiento de ciertas familias en la región. Es este nivel familiar, más que el individual, el que da el carácter al uso humano de la reserva, especialmente en relación a la tenencia de la tierra. Es decir, los que quedan son los que usan

la tierra y mantienen el derecho a usarla para la familia extendida. Hablando en particular de cinco ejidos principales de la reserva, de los 166 ejidatarios que tienen derecho a usar la tierra, según la Secretaría de la Reforma Agraria, solamente 21 (13 %) viven y usan el área de hecho. De ellos, la mayor parte son representantes de siete familias que fundaron los ejidos y que tiene la percepción de que la tierra es suya y que los otros ejidatarios son "invitados". Además, en relación con el manejo, la política de inversiones, como los fondos para ellas, como la mano de obra, vienen de la familia misma que, a su vez, obtiene su principal fuente de ingreso del terreno utilizado dentro de la reserva.

En comparación con áreas más al sur del país donde la gente tiene siglos de residencia en una región, la población de la reserva es bastante reciente. Con la excepción de una familia, todas vinieron durante este siglo y cinco de los seis ejidos han sido fundados dentro de los últimos 30 años. Sin embargo, la gente se siente como residentes permanentes, que son de aquí y no pierden tiempo en señalar los que no son locales. "Llegó ayer", se dice de algunos que ya tienen 15 años viviendo en el área de la reserva.

La pregunta importante para la reserva, entonces, no es tanto ¿por qué se va la gente? sino más bien ¿por qué viene? y ¿por qué se queda? Es decir, ¿cuales son las posibilidades de ganarse la vida en esta zona árida? Entre las metas de una Reserva de la Biosfera está la protección del medio ambiente sometido a uso humano. Sin embargo, otras de las metas es el apoyo a la gente local para el mejoramiento de su vida propia. En este sentido, la relación entre la gente, el medio ambiente y la reserva está más afectada por la forma de manejo y el tiempo que lleva establecida cada familia en el área y menos por la cantidad de gente en sí misma. Por eso, los que permanecen durante las estaciones críticas como las sequías, llegan a ser clave en la relación con la reserva. No es solamente porque se usen y afecten la tierra de forma permanente, sino porque muestran el deseo y la esperanza de quedarse. Si la gente se quedará o no depende, entre otros factores previsibles, principalmente del valor del ganado y de los recursos disponibles para mantenerlos : pastos, agua, apoyo económico y mano de obra. Sin embargo, existen otros factores intangibles, como son el patrimonio de las tradiciones de los vaqueros y charros, el valor cultural de caballos y vacas, y, además, el cariño por el campo.

La forma de vida elegida por la gente local ofrece la estructura apropiada para que la política de conservación de una Reserva de la Biosfera pueda tener éxito. Aunque la reserva de Mapimí, por tratar de proteger un ecosistema, se extiende sobre distintas manifestaciones del

sistema social, incluyendo terrenos de varios estados, municipios, ejidos y propiedades, la propia Estación Biológica de la reserva se ha integrado como una más en la red de pequeñas comunidades. El Laboratorio del Desierto muestra muchas de las características de las comunidades de su entorno. Es un sitio aislado que tiene que enfrentarse con los mismos problemas de agua, electricidad, comunicación y acceso a los pueblos. Además, tiene una población fluida de investigadores con proyectos a largo plazo. Es entre estos grupos de investigadores y los habitantes establecidos que siguen trabajando en la zona de la reserva que existe un potencial de intercambio de información, ya que su decisión de quedarse, a pesar de los problemas, revela una afinidad mutua por el campo y un querer dejar un patrimonio para las próximas generaciones.

PROYECTO MAPIMI : RESULTADOS E INTERPRETACIONES

PROJET MAPIMI : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I. RECURSOS AGUA Y SUELO
I. RESSOURCES EAU ET SOL



METODOS Y TECNICAS EMPLEADAS PARA LOS ESTUDIOS HIDROEDAFOLOGICOS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMI

Jean Asseline

Resumen

Los estudios realizados a través del estudio de las relaciones agua-suelo-vegetación en Mapimí, han requerido la utilización de diferentes materiales, técnicas e infraestructuras. El objetivo de este artículo es presentarlos en una rápida descripción. Los puntos presentados son : medición de pluviometría; medición del escurrimiento por simulación de lluvia; parcelas naturales de escurrimiento y erosión (500 y 1000 m²); microcuenca (6 ha); cuencas de 15.6 y 11.5 km²; registro de la variación de volumen de agua en el tiempo, en dos presas pequeñas; medida de humedad y de la densidad del suelo; evaluación de la cobertura vegetal y fotografía aérea a baja altitud.

Abstract

Studies carried out in the context of the relations water-soil-vegetation in Mapimi required the implementation of different materials, technics and infrastructures. The purpose of this article is to make a quick description of these. The different points taken up here are : measure of the rainfall, measure of the flows by rainfall simulation, run-off micropit, natural rain run-off and erosion plots (500 m² and 1000 m²), microcatchment (6,6 ha), catchment 15,6 km² and 11,5 km², dynamics of the water resources for two low-volume dams, measures of the soil humidity and vegetation cover evaluation, one aerial photos at low altitud.

Résumé

Les études menées dans le cadre des relations eau-sol-végétation à Mapimi ont nécessité la mise en oeuvre de différents matériels, techniques et infrastructures. L'objet de cet article est d'en faire une rapide description. Les points abordés sont : mesure de la pluviométrie, mesure des écoulements par simulation de pluie, micro-pièges de ruissellement, parcelles naturelles de ruissellement et érosion (500 et 1000 m²), micro-bassin versant (6,6 ha), bassins versants 15,6 km² et 11,5 km², suivi des volumes d'eau dans deux retenues, mesures de l'humidité et de la densité du sol, évaluation du couvert végétal, photos aériennes à basse altitude.

N.B. La presentación oral en el seminario se complementó con la proyección de diapositivas muy ilustrativas que difícilmente remplazan las fotografías en blanco y negro.

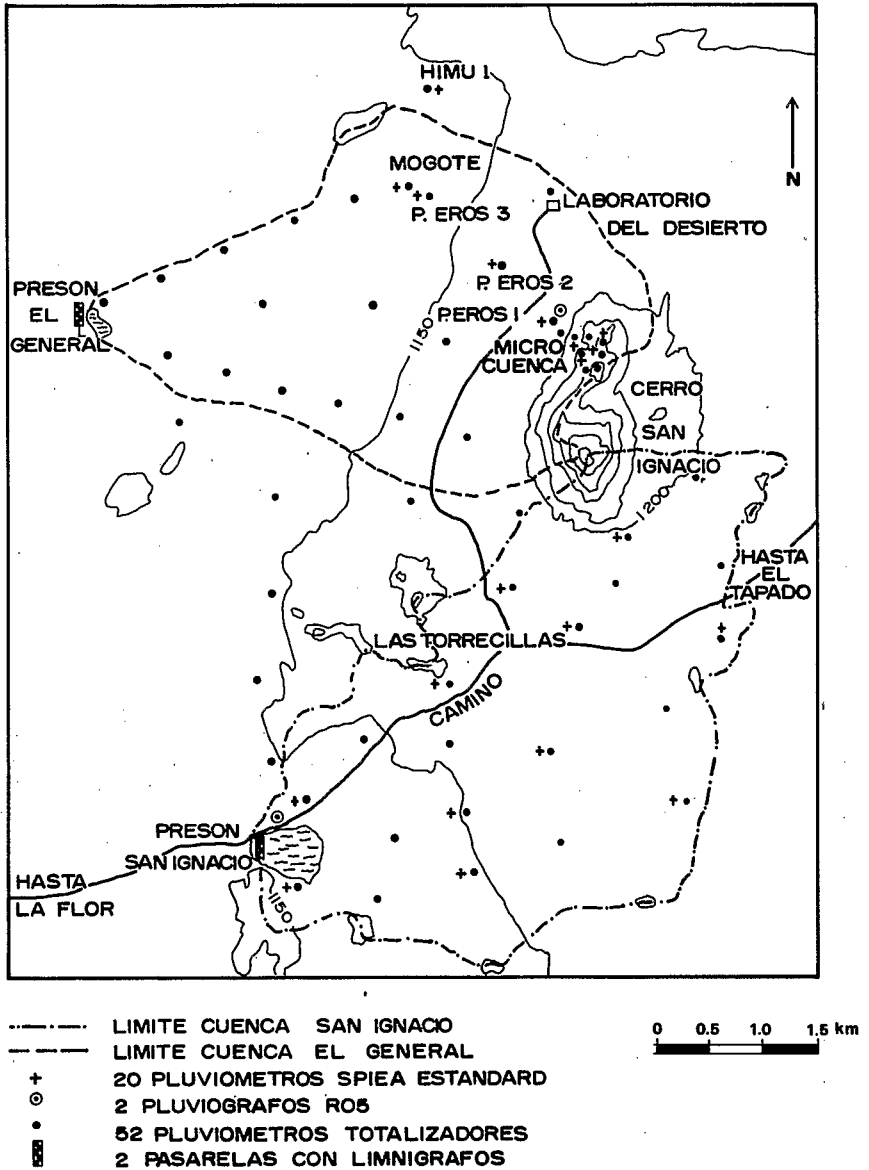


Fig. 1. Mapa de ubicación.

A fin de estudiar la distribución temporal y espacial del agua de lluvia y su dinámica en el suelo y el paisaje, en Mapimí, hemos utilizado y puesto en funcionamiento varios métodos, técnicas y equipos, que presentamos enseguida.

Medición de la lluvia

La altura de las lluvias se mide con diferentes pluviómetros repartidos sobre una superficie total de 35 km² (Fig. 1). Disponemos de 78 pluviómetros de los cuales hay :

- 55 tubos pluviómetros totalizadores de fabricación local; son tubos de lámina de acero de 1.30 m de largo perfectamente cilíndricos con un diámetro interior de 22.5 cm y con una superficie de captación del agua de 400 cm². Están pintados y parcialmente enterradas verticalmente; la parte superior del pluviómetro se encuentra a 1 m del suelo (Fig. 3).

- 23 pluviómetros estándar transparentes de lectura directa (ref : SPIEA RO 12050, Fig. 3).

- Además de los pluviómetros disponemos de dos pluviógrafos que permiten medir las intensidades de lluvia (ref : R 05 30 20 B Sociéte Précis Mécanique, Fig. 2). Con estos aparatos obtenemos buena información sobre la precipitación e intensidad de la lluvia.

Caracterización de la hidrodinámica estacional

La escasez de lluvias en la zona del Bolsón de Mapimí nos ha forzado a usar otra técnica a fin de estudiar el comportamiento de las lluvias sobre el medio natural sin depender de ellas.

Esta técnica consiste en simular lluvia con un simulador tipo ORSTOM Asseline-Valentin (Fig. 4). Este aparato permite simular lluvias de 12 a 140 mm/h con la posibilidad de hacer variar las intensidades durante el proceso. Actualmente se utilizan dos versiones, la versión con cabeza mecánica (J. Asseline) y la electrónica (Deltalab ref : EID 340) (Deltalab 38340 Voreppe France). Los dos mecanismos permiten efectuar la misma gama de intensidades. Un sistema recuperador-reciclador de agua permite disminuir el consumo de 500 a 120 l/h cuando se simulan intensidades débiles.

Una de las principales ventajas de este tipo de simulador es su movilidad que permite efectuar numerosas repeticiones y multiplicar los puntos de medición; además, facilidad de transporte, costo reducido y fácil montaje. Actualmente hay tres aparatos de este tipo en la República Mexicana.

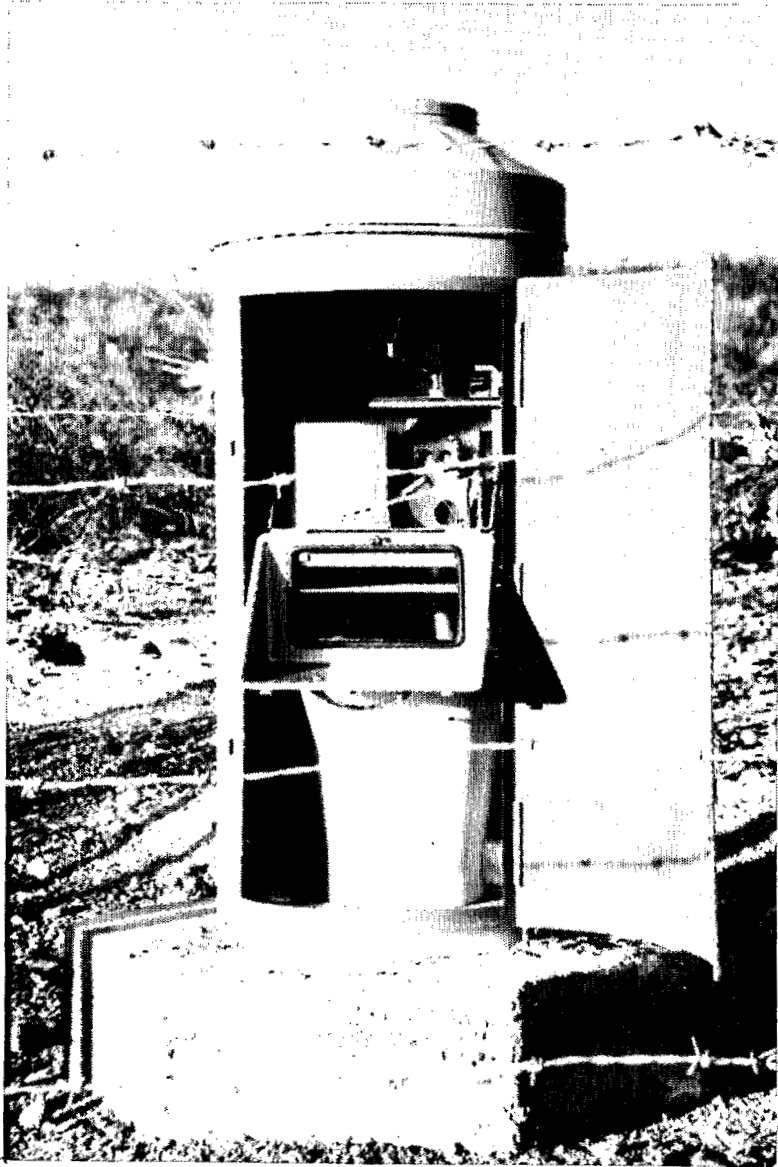


Fig. 2. Pluviógrafo.

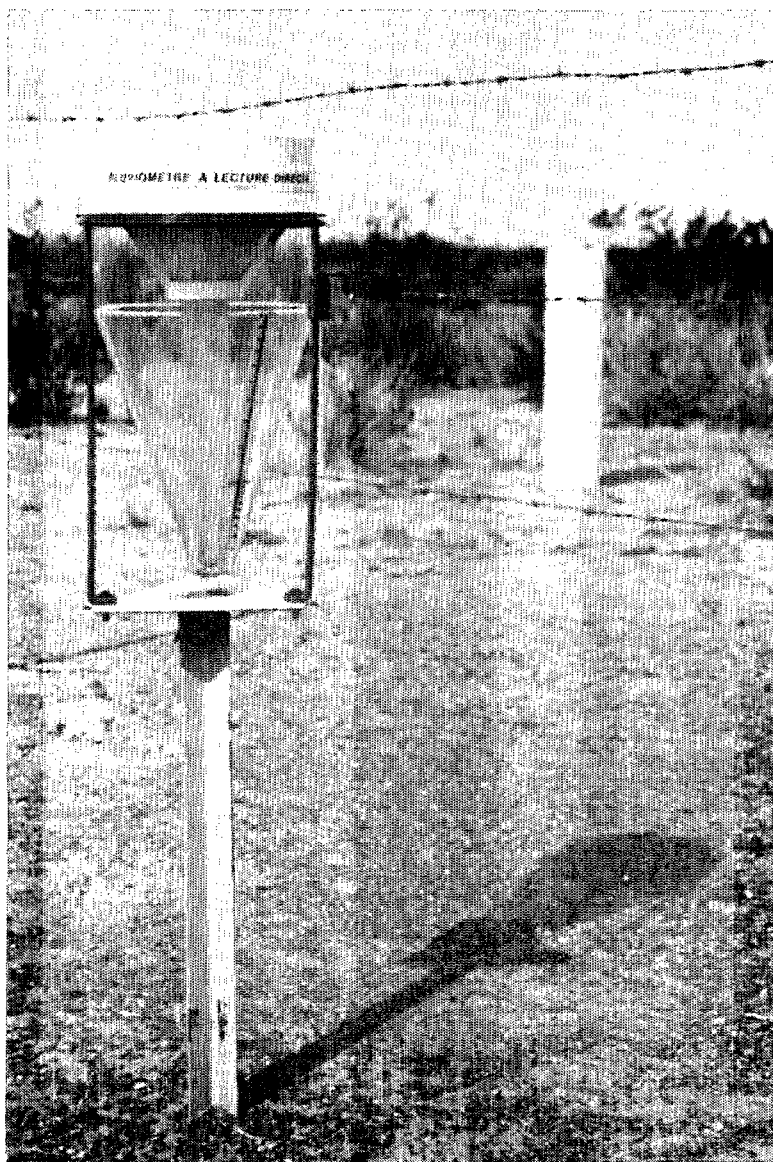


Fig. 3. Pluviómetros estándar y de acumulación.

Una presentación de este aparato se efectuó en el XXI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Cd. Juárez, Chihuahua. 8-11 de noviembre de 1988. La descripción técnica de este aparato y su funcionamiento aparecen en el artículo de J. Asseline, 1988.

El principio del simulador es realizar lluvias muy parecidas a las naturales con intensidades constantes, regulares y reproducibles sobre una superficie regada, en el centro de la cual hay una parcela de observación de 1m^2 . El agua que no se infiltra en el suelo se recolecta por gravedad y medida a intervalos de tiempo, regulares o continuos; éso permite con la diferencia por la lluvia conocida, deducir la infiltración de agua en el suelo. La posibilidad de poder repetir a voluntad las experiencias permite estudiar un número importante de sitios y de parámetros del medio ambiente, por ejemplo, el papel de la cobertura vegetal, de la pendiente, y del tipo de suelo; el papel de la intensidad de las lluvias y de sus frecuencias; coeficientes de escurrimiento y de infiltración. Se han implantado numerosas parcelas en diferentes sitios representativos (Fig. 5 y 6).

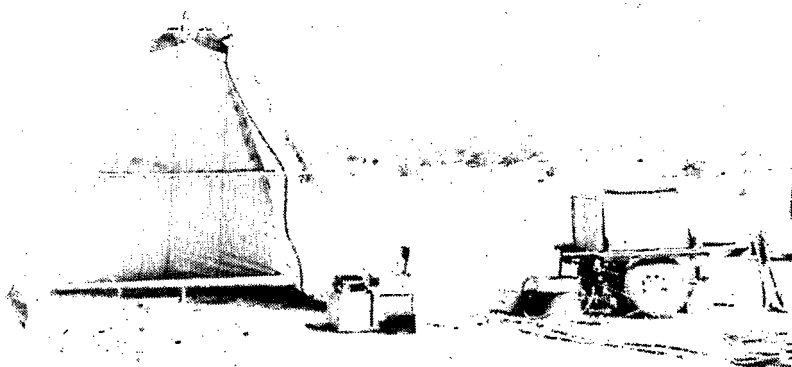


Fig. 4. Simulador de lluvia tipo ORSTOM (Asseline).

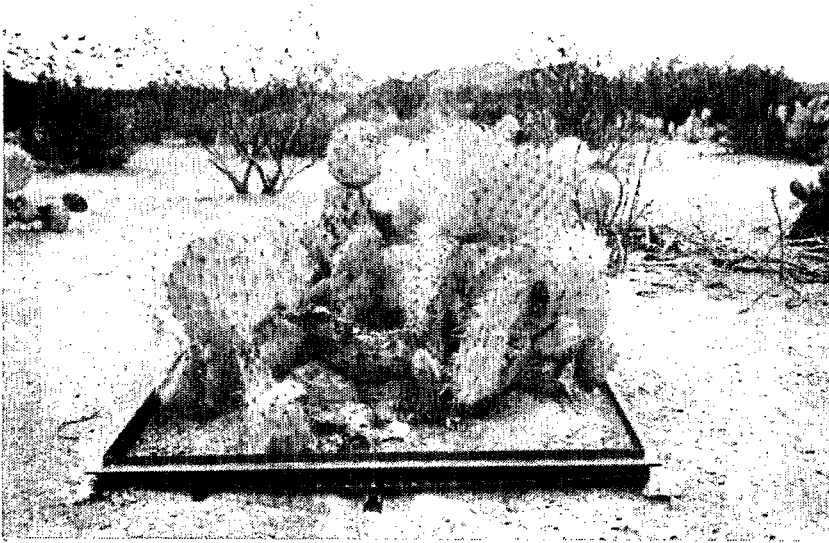


Fig. 5. Micro parcela para simulación de lluvia (1 m²) con nopales (*Opuntia rastrera*).

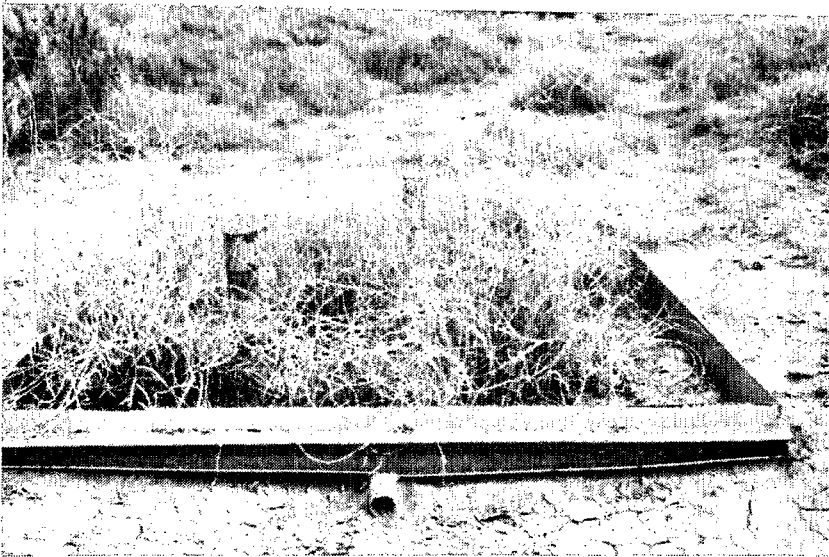


Fig. 6. Micro parcela con cobertura de *Hilaria mutica*.

Escurrimiento y erosión

1 - Caracterización al nivel del paisaje a lo largo de una toposecuencia

A un nivel espacial, el escurrimiento inducido por las lluvias naturales se midió por dos umbrales de medida o por las parcelas de escurrimiento. En estas últimas es igualmente medida la erosión hídrica. Utilizando estas técnicas, hemos instalado y equipado :

- una microcuenca.
- tres grandes parcelas de escurrimiento.
- doce minitrampas de escurrimiento.
- dos cuencas.

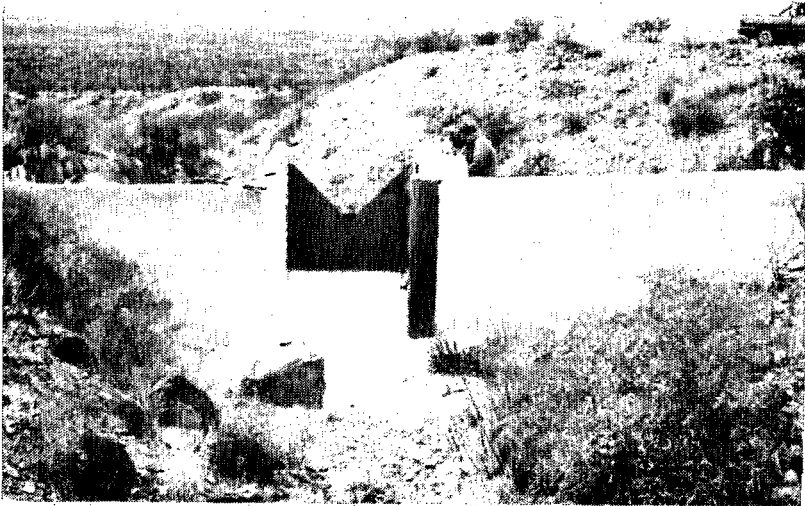


Fig. 7. Vertedor de la micro cuenca San Ignacio con limnógrafo.

Los datos topográficos han sido efectuados a fin de delimitar las superficies exactas de cada unidad y de ubicar las parcelas en función del sentido de la pendiente más fuerte.

2 - La micro cuenca de San Ignacio (Fig. 7 y 8)

Con una superficie de 6,64 ha, de pendiente (15 a 55 %) esta equipada con 11 pluviómetros, un canal de recepción de las aguas de escurrimiento con una fosa de sedimento y un vertedor en forma de V (ángulo 90°). El volumen de la fosa es de 8,5 m³, con una longitud de 6 m. Un limnígrafo A.OTT X horizontal (movimiento rápido B, rotación en 3h12') registra el nivel del agua; arriba de la cota 79,8 cm el escurrimiento se hace por el vertedor en V; la fórmula de Gourley permite deducir el caudal en función de la altura del agua desde la base de la V. Es necesario calibrar cada vertedor a fin de comparar la curva real con la curva teórica. Por eso hemos instalado un "carrito" de volumen conocido, con el fin de efectuar estas verificaciones.

Durante el escurrimiento se han efectuado varios muestreos a fin de evaluar la carga sólida derramada. Después de la crecida, los sedimentos depositados en la pileta se pesaron, con el fin de determinar la cantidad de tierra erosionada.

3 - Las parcelas de escurrimiento y de erosión

Una parcela de 1000 m² (Fig. 9) en pie de monte, con una pendiente del 6.3 % ha sido igualmente equipada con un pluviógrafo, un vertedor en V y un limnígrafo. El principio de evaluación de los caudales es el mismo que para la microcuenca; ha sido igualmente instalado un carrito de calibración (vol. 48.10 litros). Pueden almacenarse y medirse, con mucha precisión 4.5 milímetros de lámina de agua escurrida, antes que empiece el escurrimiento por la V; después, el escurrimiento sobrante será evaluado utilizando la misma fórmula de Gourley. Las dimensiones de los vertedores permiten registrar los caudales correspondientes a una intensidad máxima de 205 mm/h sobre la parcela, suponiendo un escurrimiento de 100 %.

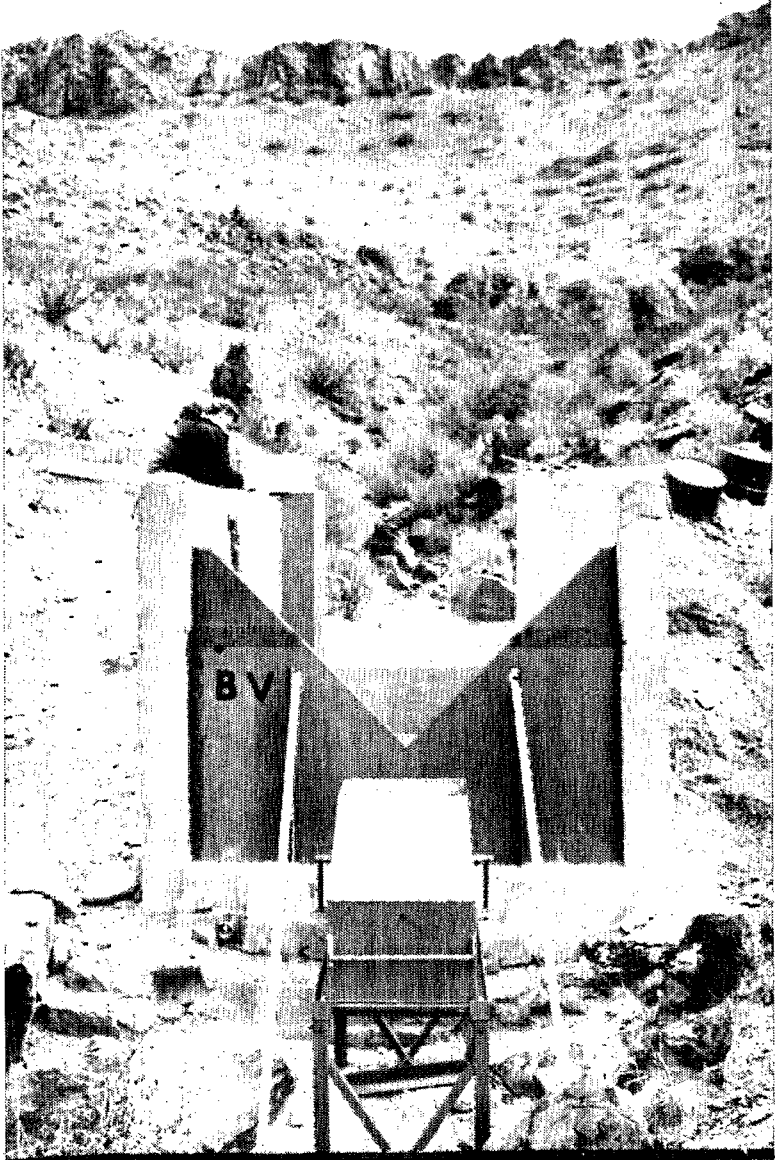


Fig. 8. Carrito de calibración.

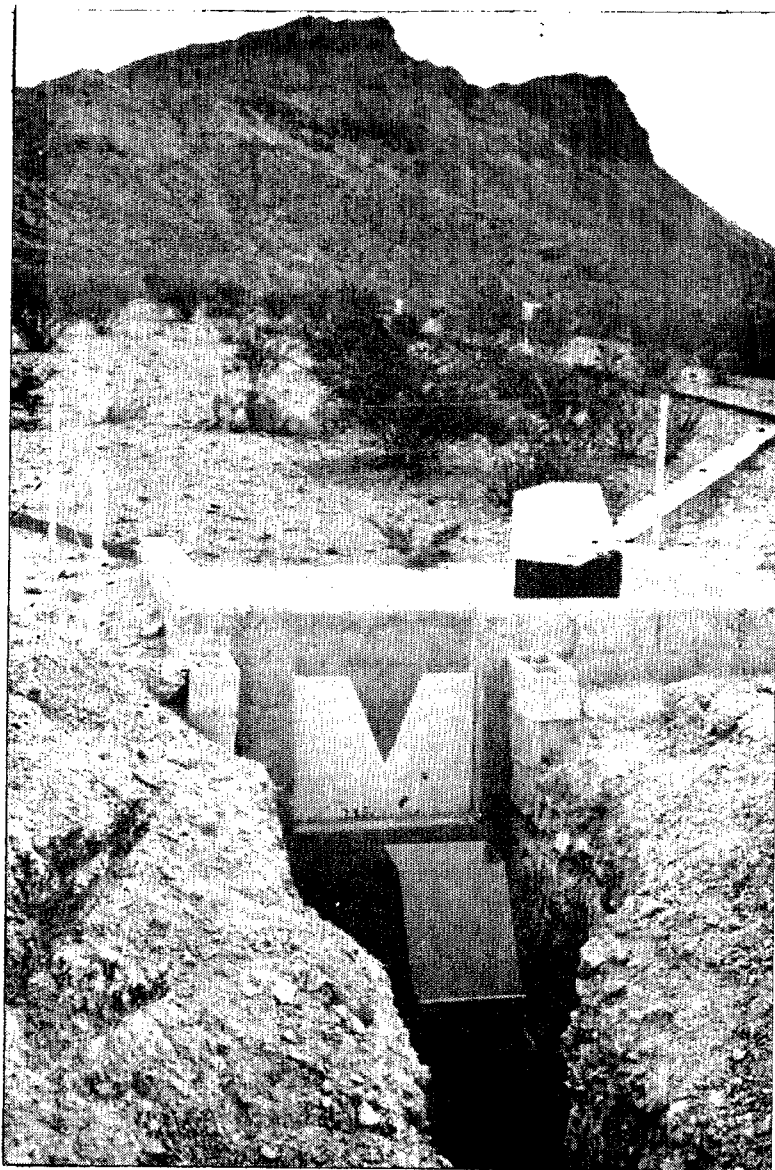


Fig. 9. Parcela de erosión Núm. 1 y escurrimiento en pie de monte.

Las parcelas de erosión Núms. 2 y 3 (Fig. 10 y 11) tienen un área más pequeña, 500 m², utilizamos otra técnica para medir el escurrimiento : el agua se recolecta en tres piletas, las dos primeras tienen repartidor de 11 salidas idénticas, de las cuales solamente una alimenta la piletta siguiente.

Cuando la primera piletta se llena (a 118 cm de altura), un volumen de 10,680 litros de agua es almacenado y el escurrimiento suplementario pasa a un primer repartidor; solamente un onceavo escurre a la piletta siguiente que puede almacenar 900 litros (900 l x 11 = 9,900 litros registrados).

En caso de lluvia fuerte, cuando la segunda piletta se desborda, ésta escurre por un segundo repartidor y de nuevo un onceavo es almacenado en un depósito de 200 litros. La capacidad total de almacenamiento, antes que el último depósito se desborde es como sigue :

Primera piletta		10,680 l
Segunda piletta	900 l x 11 =	9,900 l
Tercer depósito	200 l x 11 x 11 =	24,200 l

		44,780 litros

O sea, para el área de recepción de la parcela = 44,780 l : 500 m² = 89,6 mm; sabiendo que los porcentajes máximos de escurrimiento sobre estas 2 últimas parcelas son del orden de 68 y 72 %, se podrán medir eventos de lluvia de 131 a 125 mm antes que el sistema esté saturado. Esto nos deja un margen conveniente de seguridad.

4 - Las micro-trampas de escurrimiento tipo Planchón (Fig. 12)

Como complemento a los estudios de escurrimiento y erosión hemos colocado pequeños captosres del escurrimiento a lo largo de la toposecuencia. El empleo de éstos es nuevo, y la interpretación de datos obtenidos es de tipo cualitativa como por ejemplo : no escurrió-escurrió-se desbordó (superior a 50 litros).

Este dispositivo, que viene en complemento de las instalaciones precedentes, nos permitirá obtener informaciones sobre las transferencias hídricas a lo largo de una vertiente en función de situaciones variables (zona de escurrimiento preferencial del agua, interfluvios, presencia de vegetación).

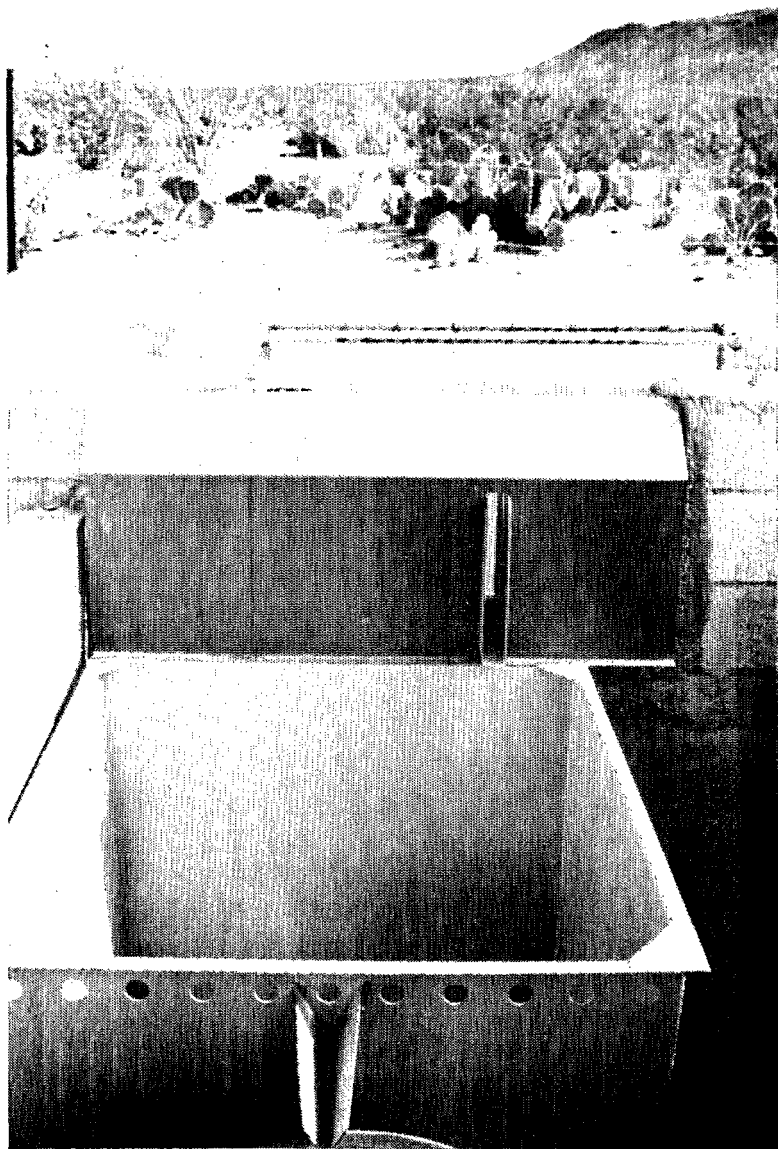


Fig. 10. Parcela Núm. 2 de escurrimiento y erosión sobre nopalera.

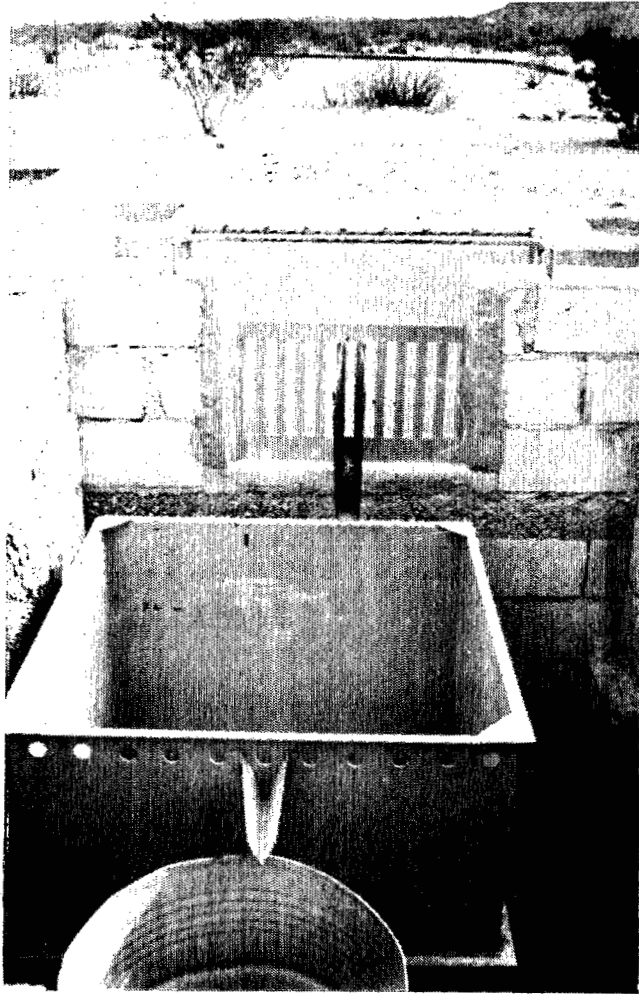


Fig. 11. Parcela Núm. 3.

5 - Evaluación del escurrimiento en el paisaje

Al nivel de la cuenca El General y San Ignacio, la evaluación de los escurrimientos no se efectúa según el modo de estudio de la hidrología clásica, donde, en general, se mide el caudal al paso. En nuestro caso, evaluamos el volumen de agua almacenado en las dos represas sin efectuar medidas de erosión. Esta evaluación del almacenado de agua se obtiene midiendo las variaciones del nivel del agua en función de los eventos de lluvia y del tiempo.

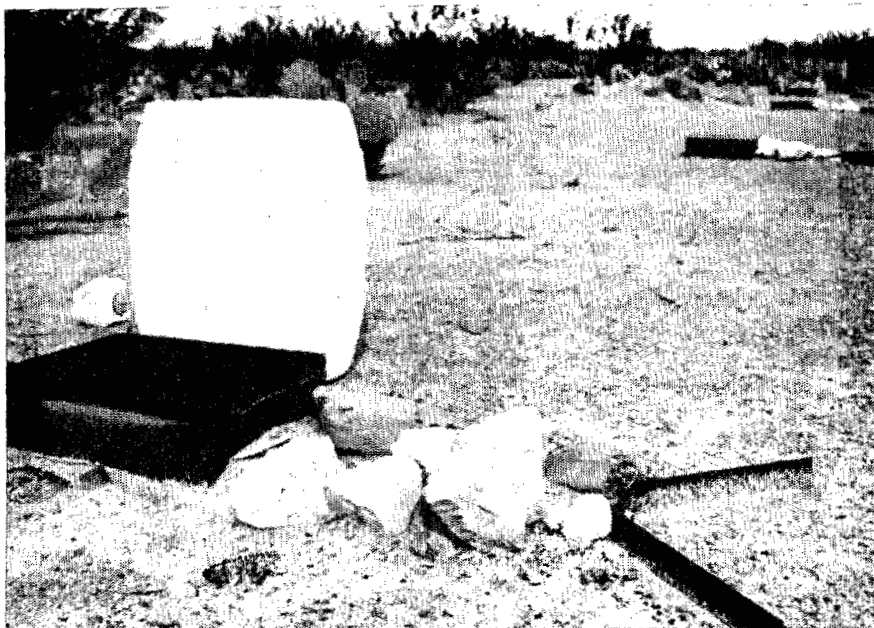


Fig. 12. Micro trampas de escurrimiento cerca de una nopalera.

La cuenca de la represa El General (Fig. 13 y 14). Su superficie ha sido evaluada en $11,5 \text{ km}^2$. Se han repartido 14 pluviómetros totalizadores a los cuales hay que agregar los 11 totalizadores y 10 pluviómetros de las diferentes parcelas y de la micro cuenca. La represa de esta cuenca está equipada con una pasarela (8 m de largo x 2 m de alto) que soporta un limnógrafo a fin de seguir y registrar las variaciones del nivel agua y así evaluar el volumen disponible. El limnógrafo instalado es un A.OTT X (ref. 20.102 Wild-Leitz-France B.P. 236, 92506 Rueil-Malmaison Cédex France) con movimiento A (lento). La rotación del tambor es de 24 h, la reducción de las alturas al registrar es de $1/2,5$.

Un vertedor fue acondicionado sobre 15 m de ancho y 40 m de largo. La topografía de esta represa fue efectuada dos veces correspondiendo a dos estados diferentes, ya que los responsables de dicha represa hicieron excavar una parte de la represa después del primer levantamiento topográfico.

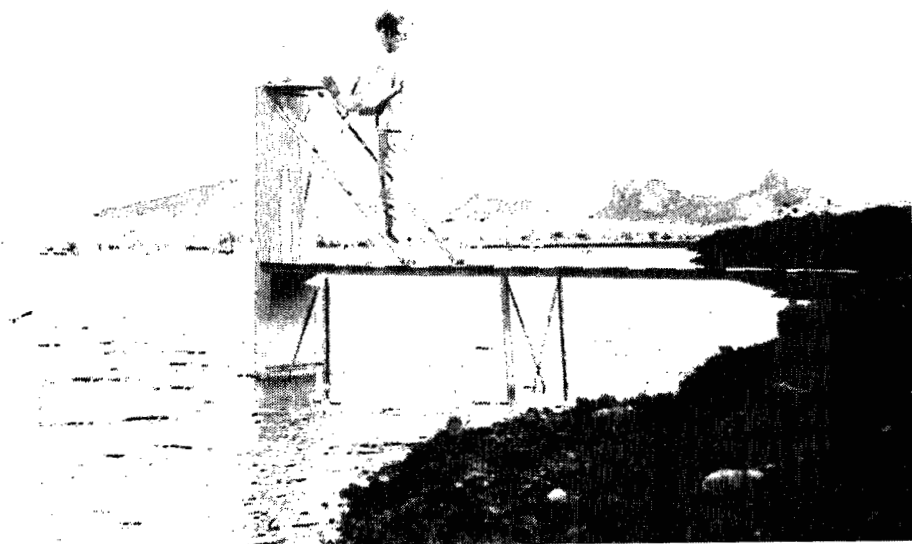


Fig. 13. Represa El General.

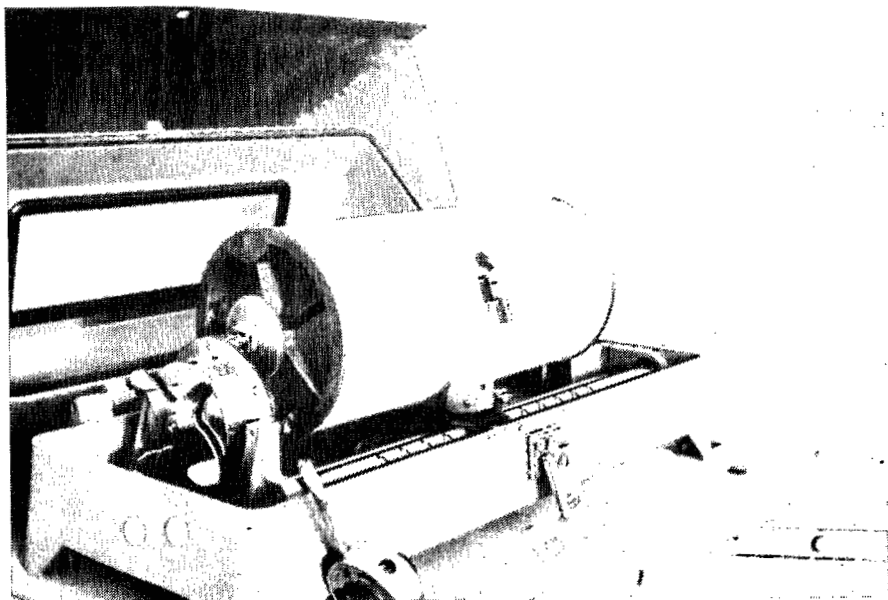


Fig. 14. Limnógrafo A.OTT X (20 102).

La Cuenca de la represa San Ignacio (Fig. 15). Con una superficie de 15,5 km², está equipada con 20 pluviómetros totalizadores y 12 pluviómetros estándar. Dos censos topográficos del fondo del presón fueron igualmente efectuados, una primera vez con agua, después en seco. Una pasarela de 12 m x 3 m soporta un limnógrafo del mismo tipo que el de la represa El General. El vertedor natural fue acondicionado, el escurrimiento debería tener lugar a partir de un nivel de agua de 3.20 metros.

Hemos hablado de la lluvia y de su ciclo terrestre (escurrimiento y almacenamiento), pero una parte de este agua se infiltra en el suelo, de donde la necesidad de medir esas cantidades infiltrados.

Evaluación de la Humedad del Suelo

1 - Método Ponderal

La humedad del suelo es medida con la ayuda de dos técnicas de las cuales la más clásica es *el método ponderal*, en el cual las muestras de suelo se efectúan abriendo una fosa o con la barrena. Las muestras se pesan antes y después de pasar a la estufa. Esta técnica tiene el defecto de ser destructiva, pero presenta la ventaja de poder efectuar numerosas medidas sobre un transecto y así abordar la variabilidad espacial de la humedad en el suelo.

2 - Humidimetría neutrónica

La humedad del suelo es medida mediante el dispersor de neutrones, solo 25 (Fig. 16), cuyo funcionamiento se basa en el conteo de los neutrones cuya velocidad disminuye por la presencia de los átomos del hidrógeno del agua contenida en el suelo; da medidas interesantes bajo condición de una calibración del suelo involucrado. Esta metodología conviene particularmente en estudios en estaciones fijas. Una sola perforación permite instalar un tubo de aluminio donde después se podrán efectuar medidas tantas veces como se requiera.

3 - Flujos hídricos

Para estudiar los flujos hídricos en el suelo, han sido equipados dos estaciones con una red de tensiómetros (Fig. 17) a diferentes profundidades. Esta técnica no es adecuada en el suelo muy seco.

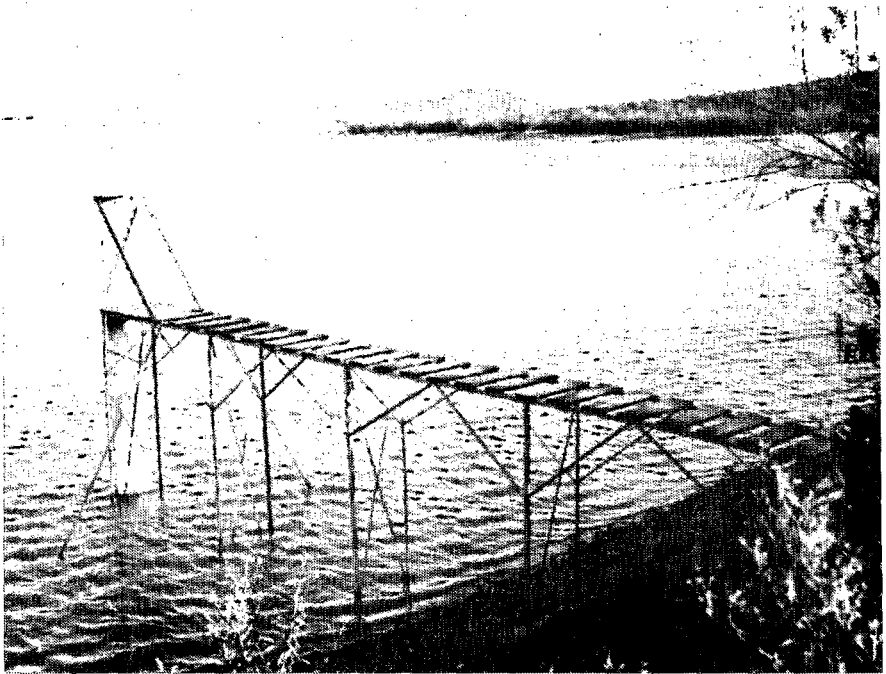


Fig. 15. Represa San Ignacio con pasarela y limnógrafo.

4 - *La densidad aparente del suelo*

La densidad aparente de los suelos, ha sido medida por muestras tomadas con la ayuda de pequeños cilindros metálicos de volumen conocido.

Evaluación de la cobertura vegetal

En las parcelas de un m^2 , utilizamos un aparato de agujas (punto cuadrado) (Fig. 18). Un pórtico montado en un riel permite desplazar, levantar y bajar, 19 agujas (de 1 m de largo) sobre 19 líneas. Esto permite probar 361 puntos en $1 m^2$. La lectura de la altura de las cabezas de las agujas permiten igualmente conocer el micro relieve de la parcela. En las parcelas grandes, la evaluación de la vegetación se hace por líneas y cuadrículas.



Fig. 16. Dispersor de neutrones.

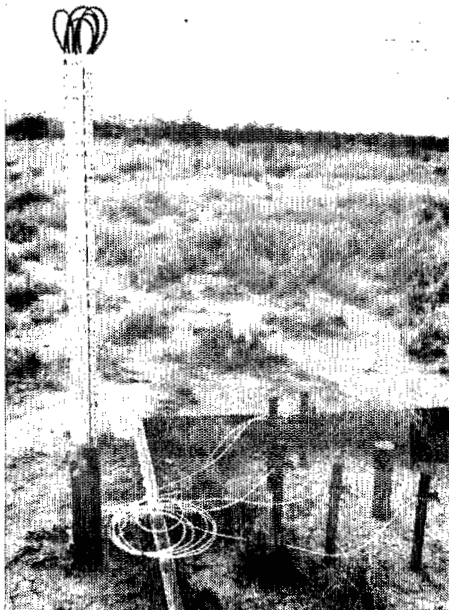


Fig. 17. Red de tensiómetros.

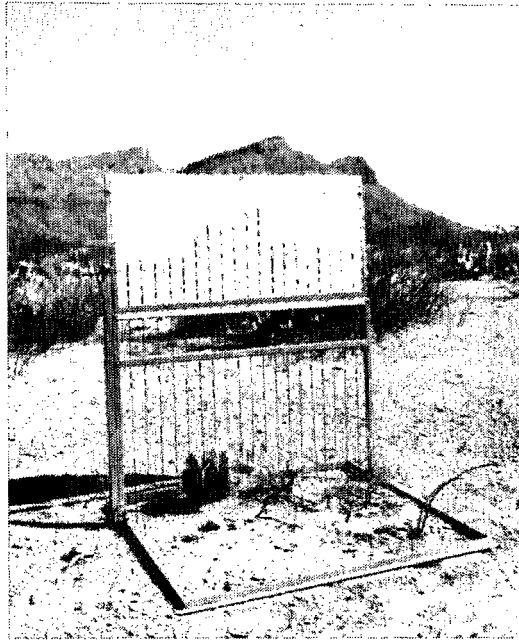


Fig. 18. Aparato de agujas para la medición de la cobertura vegetal y del microrelieve.

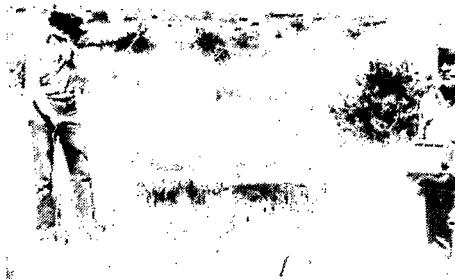


Fig. 19. Toma de fotografía con globos inflados con helio.

Las fotos tomadas verticalmente son igualmente fuentes de información muy útiles, las utilizamos en varias escalas :

Una es con la ayuda de un mástil telescópico de 1,50 m a 6 m de alto (Fig. 20) y la segunda con la ayuda de globos inflados con helio (Fig. 19), esta técnica nos ha permitido tomar fotos de 10 a más de 600 m de altura, es una técnica sencilla y de costo moderado, pero que se puede realizar solamente cuando no hay viento. El mástil y los balones han sido igualmente utilizados para hacer medidas de reflectancia de los diferentes tipos de superficie del suelo y de cobertura vegetal con la ayuda de un radiómetro. La tercera escala es la de las fotos aéreas. Tenemos juegos de fotos a escala de 1/10000 y 1/25000 y también imágenes del satélite SPOT.

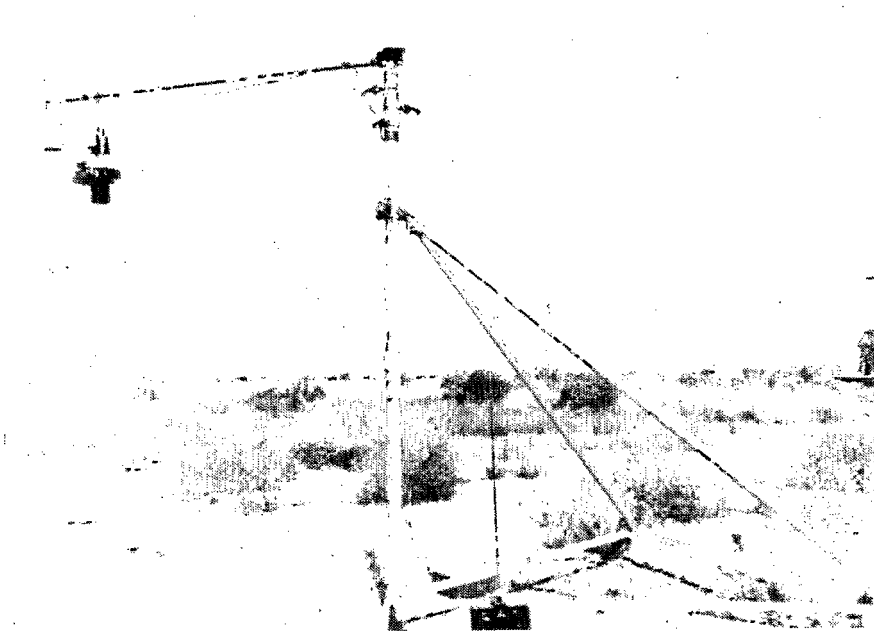


Fig. 20. Mástil y su soporte plegable para la toma de fotos y medidas de radiometría de 1,5 hasta 6 m de altura.

Literatura citada

- Asseline, J. y C. Valentin.** 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cahiers ORSTOM, sér. hydrol.* 14(4): 321-349.
- Asseline, J.** 1988. El simulador de lluvia : una herramienta para la caracterización hidrodinámica de los suelos. XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Juárez, Chihuahua, 8-11 noviembre 1988, 16 p.
- Collinet, J. y A. Lafforgue.** 1979. Mesures de ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute Volta. Orstom Abidjan, 129 p.
- Collinet, J. y C. Valentin.** 1985. Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. *In: Challenges in African hydrology and water resources (1984)* IAHS, publ. No. 144: 451-461.

CARACTERISATION DU PARAMETRE PLUIE : DISTRIBUTION DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

Jean Pierre Delhoume

Dans le milieu aride étudié, l'eau d'origine pluviale apparait bien comme le paramètre fondamental qui conditionne l'existence même de ce milieu, de ses formes vivantes et des activités humaines. Il importe donc de caractériser ce facteur de manière aussi précise et détaillée que possible.

Dans la zone d'étude, les pluies naturelles se caractérisent essentiellement par trois facteurs :

- leur rareté.
- leur concentration de juin à septembre, correspondant à une période de forte insolation.
- leur forte variabilité à la fois spatiale et temporelle.

Pour mettre en évidence ces caractéristiques, nous nous placerons à deux niveaux d'étude :

- le niveau ponctuel, c'est-à-dire l'étude de la pluie en un même site.
- le niveau spatial, c'est-à-dire l'étude de la pluie à un moment donné, en plusieurs sites distribués spatialement.

Nous étudierons ici essentiellement la pluviométrie, les données pluviographiques existantes pour la zone étudiée étant trop peu nombreuses.

Stations pluviométriques utilisées

Dans la Réserve de Mapimi, nous avons pour le même site, une station météorologique classique équipée d'un pluviomètre standard, pour lequel nous disposons de 11 années d'observations (1978-1988). Les coordonnées de cette station "Laboratoire du Désert" sont : latitude nord : $26^{\circ}41'$, longitude ouest : $103^{\circ}45'$, altitude : 1160 m.

Cependant, étant donné le nombre relativement peu élevé d'années d'observations dans la Réserve elle-même, il nous est apparu indispensable de positionner les données obtenues dans celle-ci par rapport à une station

pour laquelle nous disposons d'une plus longue période continue d'observations, ce qui permet ainsi de mieux définir les caractéristiques pluviométriques régionales. La station utilisée pour cela est celle de Ceballos, la plus proche de la Réserve, située à 42 km. à l'ouest de celle-ci et pour laquelle nous disposons d'observations de 1956 à 1987. Les coordonnées de cette station sont : latitude nord : 26°36'; longitude ouest : 104°18', altitude : 1188 m.

Pour l'étude de la pluviométrie au niveau spatial, nous disposons depuis 1987 d'un réseau de pluviomètres totalisateurs et standards distribués de manière spatiale sur une surface d'environ 30 km² (Fig. 1). Nous avons positionné les pluviomètres essentiellement en fonction du gradient topographique de la zone, qui varie de 1150 à 1475 m.

Caractérisation de la pluviométrie au niveau ponctuel

1. Distribution annuelle de la pluviométrie

11. Hauteur de pluie annuelle (Fig. 2, tableaux 1 et 1bis)

Pour les dix années d'observations complètes dont nous disposons pour la station Laboratoire (1979-1988), la hauteur moyenne interannuelle d'eau précipitée est de 283,8 mm. avec un écart-type de 62,3 mm. et un coefficient de variation de 22,0 %. Les hauteurs d'eau annuelle extrêmes mesurées sont de 198,7 mm en 1988 et 407,7 mm. en 1986.

Pour la station Ceballos, la moyenne interannuelle des précipitations, calculée à partir des années complètes, est de 293,0 mm. (période 1957-1985), avec un écart-type de 122,1 mm. et un coefficient de variation de 41,7%. Les extrêmes mesurés sont de 118,3 mm. en 1982 et 532,0 mm. en 1985.

Malgré la différence notable de durée d'observation entre les deux stations, leur hauteur moyenne annuelle de pluie est très voisine, avec cependant des variations interannuelles plus importantes pour Ceballos. Par contre, au cours d'une même année, la hauteur totale précipitée peut-être très différente entre les deux stations. Ce fut le cas en 1982 (118,3 mm. à Ceballos pour 254,1 mm. au Laboratoire) et en 1984 et 1985 (respectivement 479,7 mm. et 532,0 mm. à Ceballos pour 273,7 mm. et 323,7 mm. au Laboratoire). Pour quatre années, sur les sept d'observations communes entre les deux stations (1979-1985), la pluviométrie annuelle a été plus élevée à Ceballos qu'au Laboratoire.

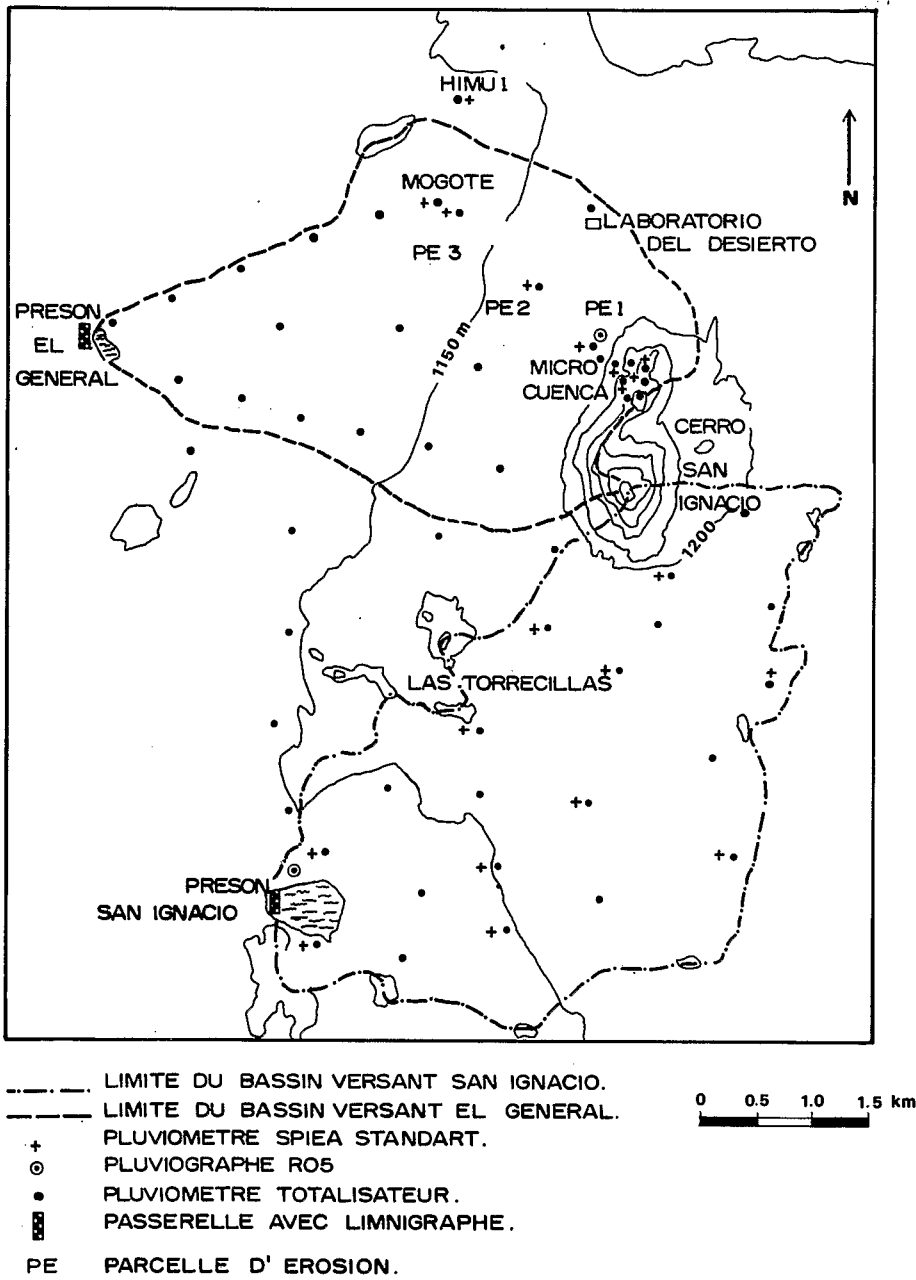


Fig. 1. Distribution spatiale du réseau pluviométrique en fonction de la topographie (Réserve de la Biosphère de Mapimi).

TABLEAU I
PLUVIOMETRIE MOYENNE MENSUELLE ET ANNUELLE DES STATIONS
LABORATOIRE (1978-1988) ET CEBALLOS (1956-1987)

Mois	Station Laboratoire (1978-1988)				Station Ceballos (1956-1987)			
	n	\bar{x}	σ	cv	n	\bar{x}	σ	cv
Janvier	10	12,1	15,3	126,4	30	11,1	14,5	130,6
Février	10	6,5	7,2	110,8	31	6,2	8,5	137,1
Mars	11	1,9	2,3	121,1	32	2,6	7,0	269,2
Avril	11	17,7	19,4	109,6	31	10,8	20,9	193,3
Mai	11	24,0	16,4	68,3	31	18,6	25,7	138,2
Juin	11	45,2	39,2	86,7	30	36,7	38,1	103,8
Juillet	11	50,4	32,3	64,1	30	44,6	35,5	79,6
Août	11	51,1	38,8	75,9	30	60,7	42,4	69,9
Septembre	11	32,9	27,7	84,2	30	55,1	47,9	86,9
Octobre	11	30,5	27,0	88,5	30	28,8	31,6	109,7
Novembre	11	9,2	12,6	136,9	30	7,4	10,2	137,8
Décembre	11	10,4	12,6	121,2	30	9,2	10,2	110,9
Total annuel des 12 mois	10/11	291,9	-----	-----	30/32	291,8	-----	-----
Année	10	283,8	62,3	22,0	28	293,0	122,1	41,7

\bar{x} = moyenne mensuelle ou annuelle de la pluviométrie (mm)
 σ = écart-type (mm)
cv = coefficient de variation (%)
n = nombre d'années d'observations

TABLEAU Ibis
POURCENTAGE DE LA PLUVIOMETRIE MENSUELLE PAR RAPPORT AU TOTAL
ANNUEL POUR LES STATIONS LABORATOIRE ET CEBALLOS

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Laboratoire (1978-1988)	4,1	2,2	0,6	6,1	8,2	15,5	17,3	17,5	11,3	10,4	3,2	3,6
Ceballos (1956-1987)	3,8	2,1	0,9	3,7	6,4	12,6	15,3	20,8	18,9	9,9	2,5	3,1

Il est possible de distinguer différents régimes pluviométriques pour la station de Ceballos (Fig. 2). Tout d'abord, la période 1959 à 1965 se caractérise par sa pluviométrie réduite (moyenne annuelle de cette période : 237,2 mm.), inférieure à la moyenne annuelle 1957-1985 et qui correspond à un période sèche. Puis, de 1966 à 1973, la pluviométrie devient plus élevée (moyenne annuelle de cette période : 352,0 mm.) avec une forte variation d'une année sur l'autre par rapport à la moyenne annuelle 1957-1985. Ensuite survient une nouvelle période sèche de 1974 à 1983 (moyenne annuelle de cette période : 236,4 mm.) à laquelle succède une période humide de 1984 à 1987 (moyenne annuelle de cette période : 460,0 mm.).

12. Nombre annuel de jours de pluie (tableaux 2 et 2bis).

Le nombre annuel moyen de jours de pluie est de 49,2 jours pour la station Laboratoire (écart-type : 11,0 jours et coefficient de variation : 22,4%) et de 42,1 jours pour la station Ceballos (écart-type : 10,5 jours et coefficient de variation : 25,1%).

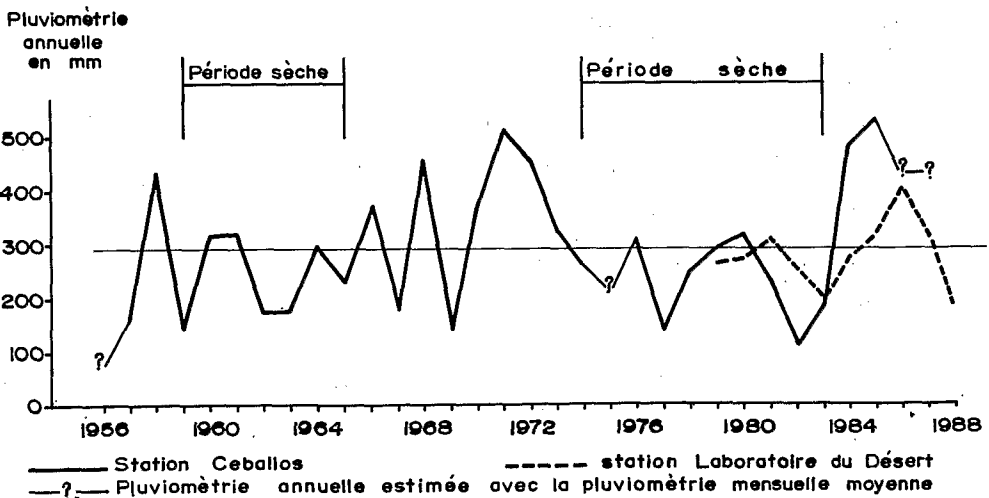


Fig. 2. Variabilité interannuelle de la pluviométrie pour les stations Ceballos et Laboratoire.

TABLEAU 2
STATION LABORATOIRE. DISTRIBUTION MENSUELLE DU NOMBRE DE JOURS
DE PLUIE POUR LA PERIODE 1978 A 1988

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
n	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10
\bar{x}	2,90	1,80	1,00	3,00	4,82	5,09	7,82	8,72	6,72	3,82	1,45	2,36	49,2
σ	2,64	1,03	1,18	2,79	1,72	2,70	3,49	3,07	4,54	2,96	1,29	1,57	11,0
cv	91,0	57,2	118,0	93,0	35,7	53,0	44,6	35,2	67,5	77,5	89,0	66,5	22,4

n = nombre d'échantillons
 \bar{x} = moyenne (jours)
 σ = écart-type (jours)
 cv = coefficient de variation (%)

TABLEAU 2bis
STATION CEBALLOS. DISTRIBUTION MENSUELLE DU NOMBRE DE JOURS DE
PLUIE POUR LA PERIODE 1956 A 1987

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
n	30	31	32	31	31	30	30	30	30	30	30	30	28
\bar{x}	2,20	1,65	0,66	1,45	2,84	4,60	6,53	7,43	6,10	4,17	1,67	2,03	42,1
σ	2,02	1,64	1,08	1,60	2,22	2,88	3,51	3,60	3,42	3,65	1,83	1,79	10,5
cv	91,8	99,4	163,6	110,3	78,2	62,6	53,8	48,5	56,1	87,5	109,6	88,2	25,1

n = nombre d'échantillons
 \bar{x} = moyenne (jours)
 σ = écart-type (jours)
 cv = coefficient de variation (%)

Les nombres annuels minimum et maximum de jours de pluie sont respectivement pour le Laboratoire de 33 jours en 1982 et de 67 jours en 1986 et de 22 jours en 1982 et de 61 jours en 1958 et en 1971 pour Ceballos.

13. Distribution annuelle des classes de hauteur de pluie

Nous avons classé les pluies journalières dans les dix classes de hauteur suivantes, ces pluies journalières correspondant dans la majorité des cas à une averse individuelle :

- classe 1 : pluie inférieure à 1 mm
- classe 2 : pluie de 1 à 4,9 mm
- classe 3 : pluie de 5 à 9,9 mm
- classe 4 : pluie de 10 à 19,9 mm
- classe 5 : pluie de 20 à 29,9 mm
- classe 6 : pluie de 30 à 39,9 mm
- classe 7 : pluie de 40 à 49,9 mm
- classe 8 : pluie de 50 à 59,9 mm
- classe 9 : pluie de 60 à 69,9 mm
- classe 10 : pluie de 70 à 79,9 mm

Pour les deux stations (tableaux 3 et 3bis), la majorité du nombre de pluies est de la classe 2, alors qu'ensuite, ce sont par ordre décroissant les pluies des classes 3, 4 et 1 pour Ceballos et 1,3 et 4 pour le Laboratoire. Le nombre des pluies des classes 5 et au-delà est insignifiant pour les deux stations.

TABLEAU 3
STATION CEBALLOS DISTRIBUTION DES PLUIES PAR CLASSE DE HAUTEUR.
RECAPITULATION 1957-1985

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Année
\bar{x}	5,00	19,82	8,89	5,04	1,96	0,68	0,32	0,18	0,07	0,21	42,1
N σ	4,11	6,48	3,75	2,59	1,40	1,02	0,55	0,39	0,26	0,42	10,55
cv	82,2	32,7	42,2	51,4	71,4	150,0	171,9	216,7	371,4	200,0	25,1
\bar{x}	2,48	45,07	61,23	69,06	46,61	22,48	14,06	9,34	4,66	18,04	293
N σ	2,09	14,81	25,53	36,93	33,30	34,59	23,97	20,41	17,15	35,48	122,2
cv	84,3	32,9	41,7	53,5	71,4	153,9	170,5	218,5	368,0	196,7	41,7

(nombre d'années complètes d'observations : 28)

TABLEAU 3bis
STATION LABORATOIRE. DISTRIBUTION DES PLUIES PAR CLASSE DE
HAUTEUR. RECAPITULATION 1979-1988

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Année
\bar{x}	12,60	19,80	7,90	5,90	1,80	0,70	0,30	0,10	0,10	0	49,2
N σ	6,40	4,08	2,88	3,0	1,14	1,06	0,48	0,32	0,32	----	11,0
cv	50,8	20,6	36,5	50,8	63,3	151,4	160,0	320,0	320,0	----	22,4
\bar{x}	5,15	47,95	55,50	83,72	43,00	23,32	13,39	5,02	6,80	0	283,8
N σ	2,57	10,96	21,50	39,66	25,42	35,96	21,65	15,87	21,50	----	62,3
cv	50,0	22,9	38,7	47,4	59,1	154,2	161,7	316,1	316,2	----	22,0

(nombre d'années complètes d'observations : 10)

\bar{x} = moyenne (mm)

σ = écart-type (mm)

cv = coefficient de variation (%)

N = nombre de pluies

H = pluviométrie (mm) correspondant à N

En ce qui concerne la contribution moyenne de chacune des classes au total annuel précipité, ce sont, par ordre décroissant, les classes 4, 3, 5 et 2 qui contribuent le plus à ce total à Ceballos, tandis que pour le Laboratoire, ce sont les classes 4, 3, 2 et 5.

A ce niveau annuel, il est assez remarquable de constater que les deux stations étudiées ont un comportement presque identique, les différences étant masquées par le fait qu'il s'agit de moyennes annuelles. C'est lorsque nous allons étudier la pluviométrie au niveau mensuel ou saisonnier que les différences entre les deux stations vont devenir beaucoup plus marquées.

2. Distribution mensuelle de la pluviométrie

21. Hauteur de pluie mensuelle (Fig. 3, tableau 1)

Pour le Laboratoire, la pluviométrie mensuelle moyenne varie, pour la période 1978-1988, d'un minimum de 1,9 mm en mars à un maximum de 51,1 mm en août. Pour Ceballos, ces minima et maxima correspondent au même mois et sont respectivement de 2,6 mm et 60,7 mm.

Pour les deux stations, ce sont les mêmes mois qui sont, soit les plus secs, soit les plus arrosés. Cependant il existe une différence entre les hauteurs moyennes mensuelles des deux stations, qui s'accroît lorsque la pluviométrie augmente, et en particulier pour le mois de septembre qui reçoit en moyenne 55,1 mm à Ceballos et 32,9 mm au Laboratoire. A noter que la pluviométrie moyenne mensuelle est toujours plus élevée dans cette dernière station, sauf pour les mois d'août et de septembre.

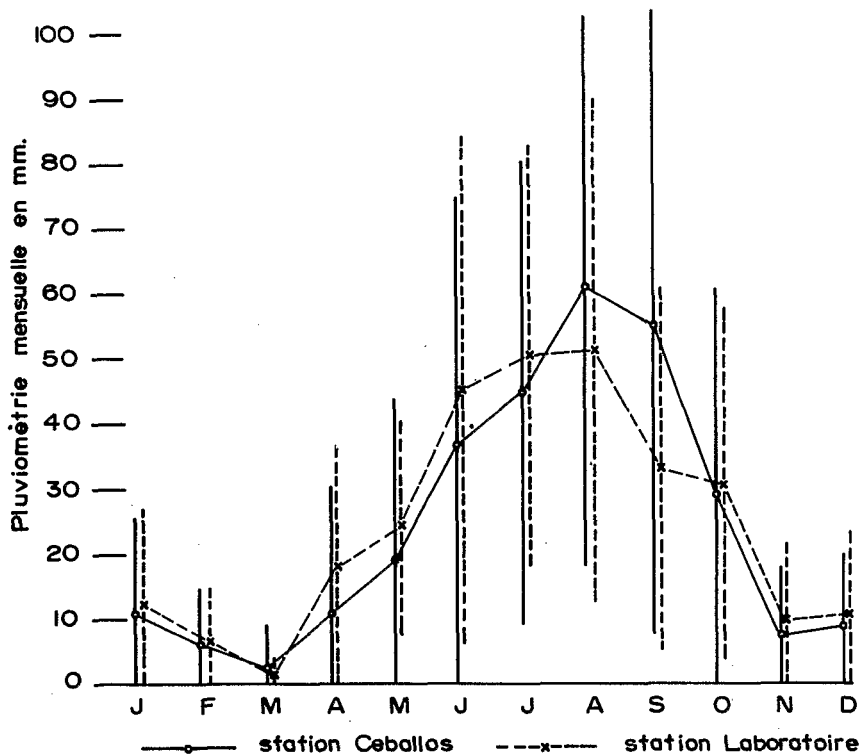


Fig. 3. Variabilité de la pluviométrie mensuelle pour les stations Ceballos (n = 30 ans) et Laboratoire (n = 11 ans) (Moyenne mensuelle et Ecart-type).

Cette similitude de la pluviométrie moyenne mensuelle entre les deux stations masque cependant la grande variabilité qui existe, d'une part, entre la pluviométrie mensuelle du même mois de la même station d'une année sur l'autre, et d'autre part, entre la pluviométrie du même mois entre les deux stations.

Ainsi, pour le Laboratoire, les pluviométries mensuelles extrêmes mesurées sont les suivantes :

	Minimum (mm)	Maximum (mm)
janvier	0,7	35,0
février	0,1	24,5
mars	0,0	6,9
avril	0,0	55,0
mai	0,5	51,5
juin	3,4	129,6
juillet	3,6	99,8
août	10,5	119,9
septembre	1,0	79,9
octobre	0,0	82,1
novembre	0,0	41,0
décembre	0,0	25,5

Pour Ceballos, la variabilité de ces extrêmes est encore plus accentuée :

	Minimum (mm)	Maximum (mm)
janvier	0,0	59,0
février	0,0	35,5
mars	0,0	39,0
avril	0,0	102,0
mai	0,0	117,0
juin	0,0	143,5
juillet	0,4	141,0
août	2,0	174,5
septembre	3,0	177,0
octobre	0,0	146,0
novembre	0,0	42,0
décembre	0,0	40,0

Ainsi, d'une année sur l'autre, la pluviométrie d'un même mois peut varier dans des proportions importantes, mais au cours de la même année, cette pluie mensuelle peut-être aussi très variable entre les deux stations, comme le montre les exemples suivants :

	Laboratoire (mm)	Ceballos (mm)
juin 1982	43,0	5,8
juillet 1982	84,6	29,1
juin 1984	48,6	111,0
juillet 1985	42,3	91,0
août 1985	73,4	24,0
septembre 1985	31,0	177,0
octobre 1985	46,1	87,0
mai 1986	33,8	117,0
avril 1987	32,0	102,0

Une forte proportion de la pluie est concentrée sur quelques mois. Ainsi, au Laboratoire, la pluviométrie moyenne de juin à septembre inclus représente 61,6% du total annuel moyen, et à Ceballos 67,6%.

Mais là aussi, il existe une forte variabilité dans cette répartition de la pluie mensuelle selon les années. Par exemple, la pluviométrie de juin à septembre inclus représente, au Laboratoire, 84,6% en 1979 et seulement 22,3% en 1981, tandis qu'à Ceballos, ce total saisonnier est de 86,3% et 85,8% respectivement en 1970 et 1967, et seulement 34,6% en 1957.

22. Nombre mensuel de jours de pluie

Ce sont les mois de juin, juillet, août et septembre qui présentent en moyenne le plus grand nombre de jours de pluie pour les deux stations, mais ce nombre est légèrement plus élevé au Laboratoire (5,1 à 8,7 jours) qu'à Ceballos (4,6 à 7,4 jours). A noter une différence notable en mai entre les deux stations : 4,8 jours au Laboratoire contre 2,8 jours à Ceballos. Pour les autres mois, le nombre mensuel de jours de pluie est inférieur à 3 jours, le minimum (1 jour) s'observant en mars.

Caractérisation de la pluviométrie au niveau spatial

A cette distribution très variable de la pluie dans le temps, s'ajoute une forte variabilité spatiale de celle-ci, comme le montrent les mesures obtenues depuis trois ans, à partir d'un réseau de 54 pluviomètres totalisateurs et de 20 pluviomètres standard distribués sur une surface de 30 km² (Fig. 1).

Ainsi, sur de courtes distances, 1 à 2 km en général, la pluviométrie varie très rapidement, comme le montrent les isohyètes des pluies des 29 juin (Fig. 4) et 26 juillet 1988 (Fig. 5). Ce mode de répartition de la pluie est dû essentiellement au type de précipitations survenant durant la "saison des pluies" : il s'agit d'orages localisés, plus ou moins violents, de courte durée mais à forte intensité. Pendant cette période de pluies, il survient en moyenne 3 ou 4 événements pluvieux de ce genre qui représentent en général plus de 80% du total de la "saison des pluies". A l'échelle de cette dernière, comme en 1988 par exemple (Fig. 6), on constate que la variabilité spatiale s'est ajoutée au lieu de se compenser, c'est-à-dire que les événements pluvieux se sont focalisés pratiquement sur le même site au lieu de se produire au hasard sur toute la zone. Il en résulte que cette année-là, le nord du secteur étudié a reçu 3 fois plus de précipitations que la partie sud. Il est cependant encore prématuré pour généraliser un tel résultat à l'ensemble du milieu aride, étant donné le nombre insuffisant de mesures concernant cette distribution spatiale de la pluie.

Conclusion

Dans le milieu aride étudié, les caractéristiques propres de la pluie naturelle apparaissent bien comme le paramètre fondamental à prendre en compte dans l'optique d'une exploitation de ce milieu par l'élevage bovin extensif. C'est essentiellement la disponibilité en eau qui va conditionner la réussite d'un tel élevage, en particulier en déterminant les possibilités de production végétale et donc d'approvisionnement en fourrages, ainsi que les possibilités d'abreuvement du bétail.

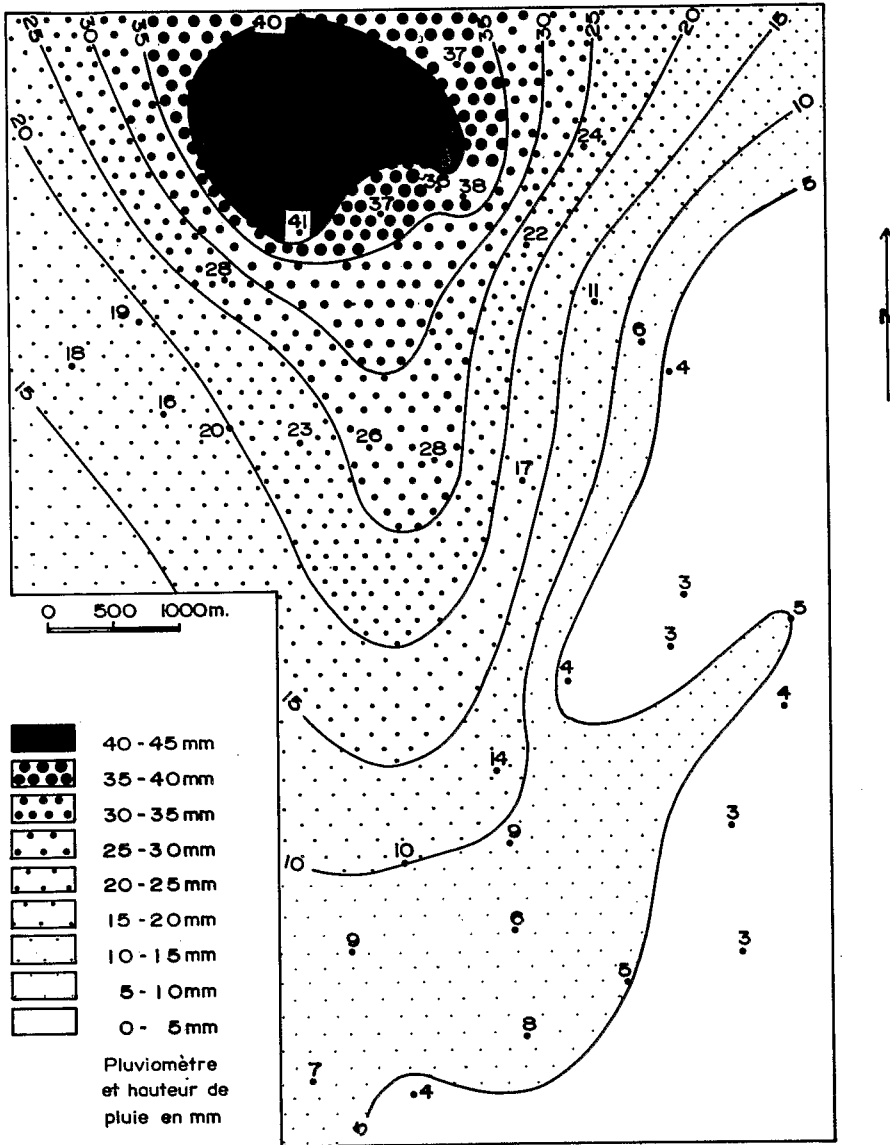


Fig. 4. Bassins versants El General et San Ignacio : Isohyètes de la pluie du 29 juin 1988 (en mm).

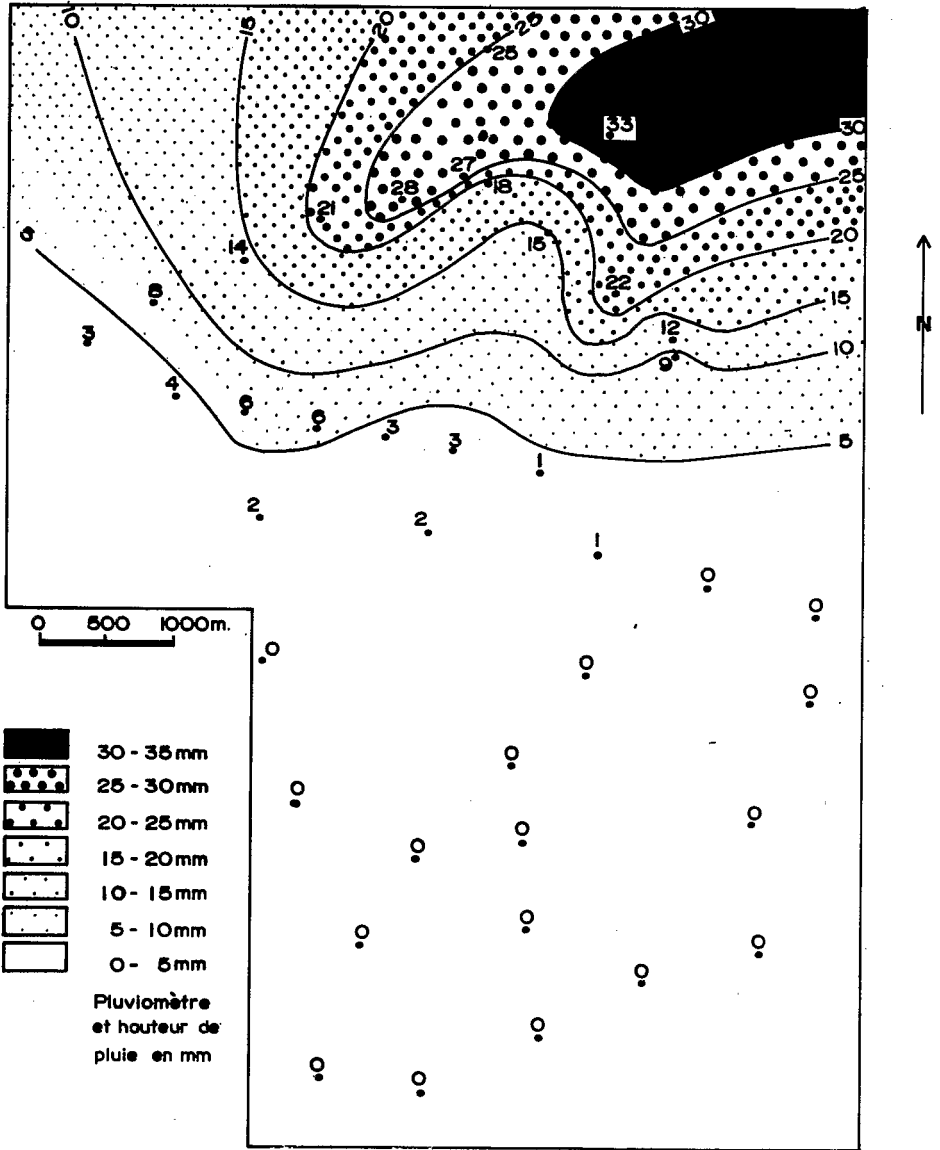


Fig. 5. Bassins versants El General et San Ignacio : Isohyètes de la pluie du 26 juillet 1988 (en mm).

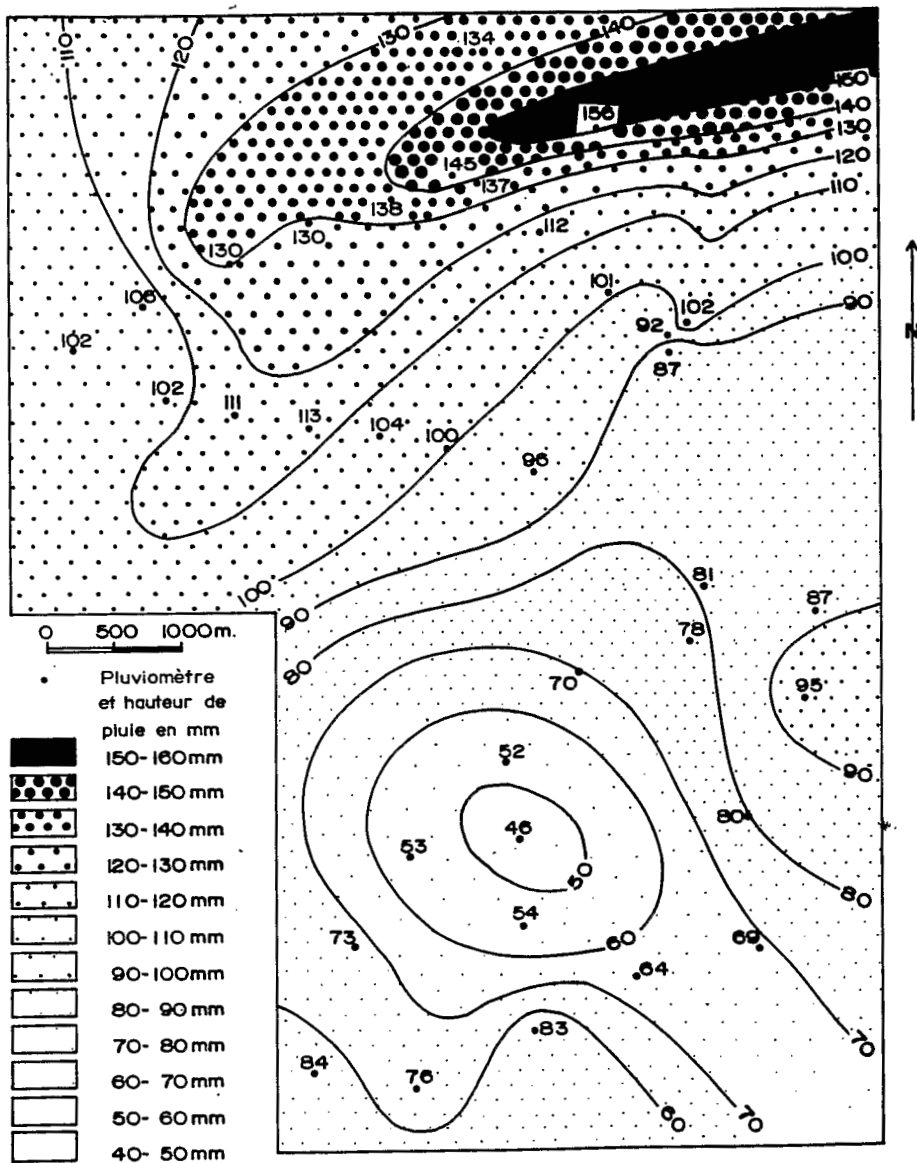


Fig. 6. Bassins versants El General et San Ignacio : Isohyètes de juin à septembre 1988 (en mm).

COMPARAISON DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES OBTENUES A L'AIDE DE DEUX TYPES DE PLUVIOMETRES

Jean Asseline

Resumen

Comparación de datos pluviométricos obtenidos con la ayuda de dos tipos de pluviómetros : pluviómetros tubos totalizadores de construcción local y pluviómetros estándar de lectura directa (SPIEA Francia). Este estudio comparativo fue efectuado en 18 estaciones equipadas cada una de los dos tipos de pluviómetros. El análisis de los resultados obtenidos con 12 lluvias diferentes, muestra una subevaluación importante y sistemática de las alturas de lluvia medidas con la ayuda de los pluviómetros totalizadores para lluvias débiles e inferiores a 4 mm; pero también resultados casi totalmente comparables para las lluvias superiores a 4 mm. La acumulación anual no registra diferencia significativa.

Abstract

Comparative of pluviometric data obtained by two pluviometers types : adding pluviometers by local construction and standard pluviometers with direct reading. The comparison study was carried out twelve rains and eighteen stations each one equipped with the two models. The analysis of the achieved results shows an important and systematic underestimation of the heights of water measured with use of adding pluviometers for the small rains inferior to 4 mm but also completely comparable results for the rains superior to 4 mm. The annual amassing does not retain significant differences.

Résumé

Comparaison des données pluviométriques obtenues à l'aide de deux types de pluviomètres : pluviomètres tubes totalisateurs de construction locale et artisanale et pluviomètres à lecture directe, transparents, standards (SPIEA). L'étude comparative a été effectuée sur 18 stations équipées chacune des deux modèles de pluviomètres. L'analyse des résultats obtenus avec 12 pluies différentes, montre une sous-évaluation importante et systématique des hauteurs de pluie mesurées à l'aide des pluviomètres totalisateurs pour les faibles pluies, inférieures à 4 mm, mais aussi des résultats tout à fait comparables pour les pluies supérieures à 4 mm. Le cumul annuel n'enregistre pas de différence significative.

Introduction

Depuis 1983, nous avons utilisé à Mapimi des pluviomètres totalisateurs pour mesurer les hauteurs de pluie. Il s'agit d'appareils simples et rustiques et afin de tester leur validité, nous avons effectué en 1989 une comparaison avec un autre type d'appareil, le pluviomètre standard.

1. *Les pluviomètres totalisateurs, à accumulation (annexe 1).*

Ce sont des tubes de tôle d'acier d'environ 1,5 mm d'épaisseur, parfaitement cylindriques, de 1,30 m de long, fermés au fond, dont le bord supérieur est affûté en biseau. Leur diamètre intérieur est de 22,5 cm afin d'avoir une surface d'ouverture de 400 cm². Fabriqués artisanalement à Gomez Palacio, ils sont peints et partiellement enterrés, avec l'ouverture à 1 m du sol. Une hauteur d'environ 1 cm d'huile minérale est déposée au fond afin d'éviter l'évaporation de l'eau. La hauteur de pluie est mesurée à l'aide d'un mètre ruban, entre la bordure supérieure du pluviomètre et la surface de l'huile.

De la valeur en millimètre mesurée antérieurement, on déduit la lecture observée au moment du relevé. La différence de hauteur du niveau d'huile correspond en mm à la hauteur de la ou des pluies qui ont eu lieu depuis le précédent relevé. Nous utilisons 55 pluviomètres totalisateurs de ce type.

2. *Les pluviomètres SPIEA standards transparents (annexe 1).*

Les pluviomètres SPIEA sont à lecture directe, l'ouverture est de 400 cm², placée également à 1 m du sol. Nous utilisons 20 pluviomètres de ce type.

La comparaison

Elle a porté sur 12 pluies, réparties entre le 17 juillet et le 9 septembre 1989. Trois de ces pluies ont été supérieures à 10 mm. 18 stations sont équipées en double (pluviomètre standard et pluviomètre à accumulation). Quatre de ces couples sont installés sur forte pente (40%) dans le micro-bassin versant de San Ignacio; les quatorze autres sont en plaine. Nous avons pu comparer 107 couples de mesures inférieures et 76 supérieures à 4 mm (35 de 4 à 10 mm, 19 de 10 à 20 mm, 20 de 20 à 30 mm et 22 de 30 à 60 mm), soit un total de $183 \times 2 = 366$ données.

L'examen du graphique ci-dessous, montre qu'au-dessus de 4 mm de hauteur de pluie, il n'y a pas de différence significative entre les valeurs obtenues avec un type de pluviomètre ou avec l'autre. Le fait qu'ils soient placés sur un versant montagneux n'introduit pas non plus de différence notable entre les deux modèles. Par contre, on remarque une sous-évaluation presque systématique lors des pluies inférieures à 4 mm, particulièrement nette entre 0 et 2 mm.

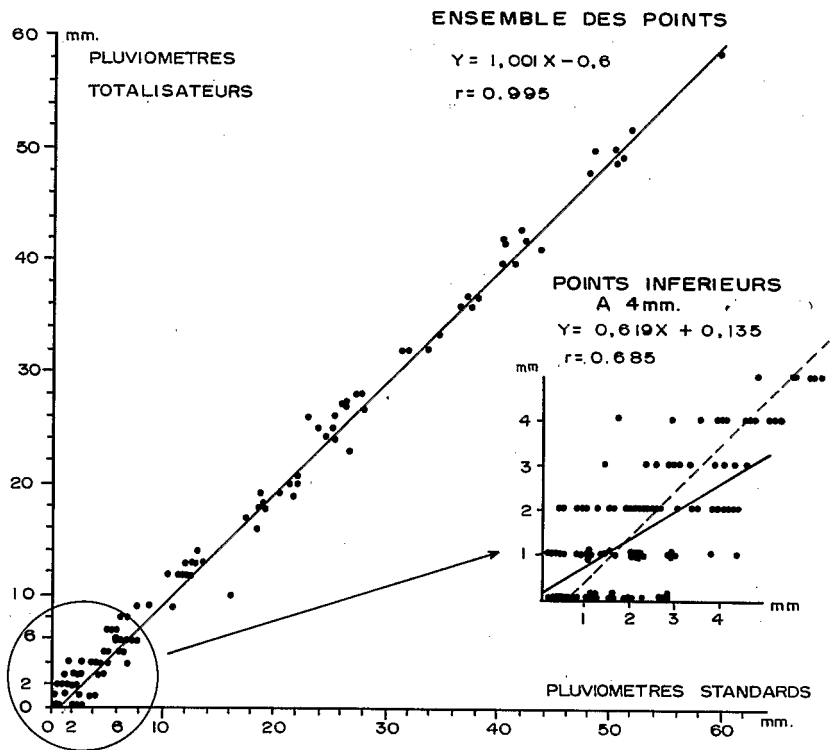


Fig. 1. Corrélation entre les hauteurs de pluie mesurées avec les pluviomètres totalisateurs et les pluviomètres standards (12 pluies sur 18 stations équipées en double).

La difficulté de lecture précise à l'aide d'un mètre ruban pourrait expliquer ce phénomène mais, par suite de l'accumulation, les erreurs devraient se compenser; ce n'est pas le cas. Une autre hypothèse peut expliquer cette sous-évaluation des faibles pluies : seules les gouttes tombant bien verticalement peuvent atteindre le niveau d'huile qui les protégera de l'évaporation. La longueur du tube mais aussi sa température seraient des facteurs d'évaporation particulièrement marquants pour les faibles pluies.

Cet inconvénient de la sous-estimation des très faibles pluies avec les totalisateurs est acceptable pour le type d'étude menée à Mapimi. Ces très faibles pluies ont peu d'effet sur le milieu naturel : pas de ruissellement, pas d'infiltration car reprise très rapide par évaporation, pas de démarrage de croissance végétale.

Conclusion

Nous retiendrons que :

- les pluviomètres standard ont une bien meilleure précision de mesures pour les faibles pluies (moins de 4 mm), mais ils sont plus fragiles et plus attractifs pour les agents extérieurs (animaux et hommes). Ils nécessitent des relevés après chaque pluie.
- les pluviomètres totalisateurs n'enregistrent pas, ou mal, les très faibles pluies; mais pour les valeurs supérieures à 4 mm, ils ont la même réponse que les pluviomètres standards, ils sont résistants, nettement moins chers (trois fois), et permettent des relevés journaliers mais aussi hebdomadaires, mensuels ou même annuels, ce qui les rend particulièrement intéressants pour les mesures de la pluie effectuées dans des lieux retirés ou difficiles d'accès. Les défauts signalés plus haut sont largement compensés par ces avantages, en ce qui concerne le type d'informations que nous recherchons actuellement à Mapimi ainsi que le type de milieu étudié.

Annexe 1

Origine du matériel

Pluviomètres totalisateurs : De fabrication locale aux établissements Comako, 260 Canatlán, Zona Industrial, 35070 Gómez Palacio, Dgo, Mexique.

Pluviomètres standards SPIEA (réf : R 01 2050 A, Direction Météorologie, France) : Précis Mécanique, 14 rue Denis Papin, B.P. 76, 95872 Bezons Cedex, France.

ETUDE PRELIMINAIRE DE LA VARIABILITE SPATIALE DU STOCK D'EAU DU SOL DANS L'OPTIQUE DE LA DETERMINATION DU BILAN HYDRIQUE PARCELLAIRE

Jean Pierre Delhoume

Comme le montrent de nombreuses études expérimentales réalisées au cours des dernières années (Gascuel-Oudou, 1987; Rambal *et al.*, 1984; Ruelle *et al.*, 1986; Vachaud *et al.*, 1985; Vauclin, 1983; Vieira *et al.*, 1981; Walter, 1989; Webster, 1985), il existe une grande variabilité spatiale des propriétés physico-chimiques des sols, même à l'intérieur d'une unité pédologique considérée comme homogène. Dans la majorité des cas, cette variabilité n'est pas aléatoire, car elle obéit à des lois ou paramètres qu'il importe de définir, afin d'obtenir une meilleure connaissance de l'unité-sol considérée.

Le bilan hydrique du sol au niveau d'une parcelle est déterminée à partir de l'évolution temporelle de la quantité d'eau présente dans le sol, qui est elle-même conditionnée par les apports pluviométriques, par l'évapotranspiration, et par diverses propriétés de la couverture pédologique, comme la texture, la capacité de rétention et la porosité, propriétés qui présentent une grande variabilité spatiale.

Le but du présent travail est de caractériser, de manière simple, à partir d'un exemple d'étude expérimentale, la variabilité spatiale du stock d'eau du sol au niveau d'une parcelle, considérée comme homogène d'un point de vue environnement physique et biotique. Une fois caractérisée cette variabilité et dans l'optique d'une étude du bilan hydrique du sol de cette parcelle, il sera alors possible de déterminer les sites de mesure de l'humidité du sol de la station considérée, afin que ceux-ci, d'une part, soient représentatifs, et, d'autre part, qu'ils couvrent toute la gamme de variabilité du stock d'eau au niveau de cette parcelle.

Matériel et méthodes

L'exemple que nous utiliserons pour caractériser la variabilité spatiale du stock hydrique du sol, provient de l'une des différentes unités élémentaires de milieu, définies lors de la phase d'inventaire (voir ci-dessus

l'article intitulé : Problématique scientifique) et qui présentait un intérêt pour l'élevage : il s'agit de l'unité appelée *Hilaria mutica*, du nom d'une espèce végétale (Delhoume, 1988). A l'intérieur de cette unité élémentaire, une parcelle expérimentale (70 x 50 m), isolée arbitrairement par une clôture, a été installée de manière à ce que cette station d'étude soit représentative de l'ensemble de l'unité. Cette dernière se situe topographiquement au niveau de la *bajada* inférieure, c'est-à-dire dans des zones à faible pente (moins de 2%) faisant transition avec les zones basses (*playa*) d'accumulation des eaux et des sédiments.

La végétation est constituée par une formation herbeuse très largement dominée par une seule espèce, *Hilaria mutica*, graminée pérenne dont le recouvrement basal est de l'ordre de 30%. Cette strate herbacée, où l'on note la présence de quelques cactacées, est dominée par une strate arbustive très peu dense, constituée surtout par l'espèce *Prosopis glandulosa*. La végétation est donc essentiellement herbacée et elle se distribue spatialement de manière contractée à l'échelle métrique : l'on observe en effet une alternance d'une part, de touffes végétales de *Hilaria*, ayant de 40 à 50 cm de diamètre et formant des micro-buttes de 5 à 10 cm de hauteur, et, d'autre part, d'espaces de sol totalement dénudé, sans aucune végétation, et en dépression par rapport aux touffes végétales. Ces dernières se distribuent spatialement de manière irrégulière et désordonnée, sans aucun ordonnancement apparent. Ce mode de distribution de la végétation est à l'origine du micro-relief observé, constitué de micro-buttes dominant des micro-dépressions.

La couverture pédologique est homogène au niveau de la parcelle : le sol est un yermosol gypseux, sur alluvions argileuses, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone. La texture est argileuse dès la surface, avec prédominance d'argiles minéralogiques gonflantes, du type smectite. La teneur en matière organique, inférieure à 1 %, est faible, et la conductivité électrique ne devient notable qu'au-delà de 70 cm : il s'agit d'une salinité d'origine lithologique. A moyenne profondeur, on observe une redistribution secondaire de gypse sous forme d'accumulation discontinue, témoin hérité d'une pédogenèse plus ancienne (tableau 1).

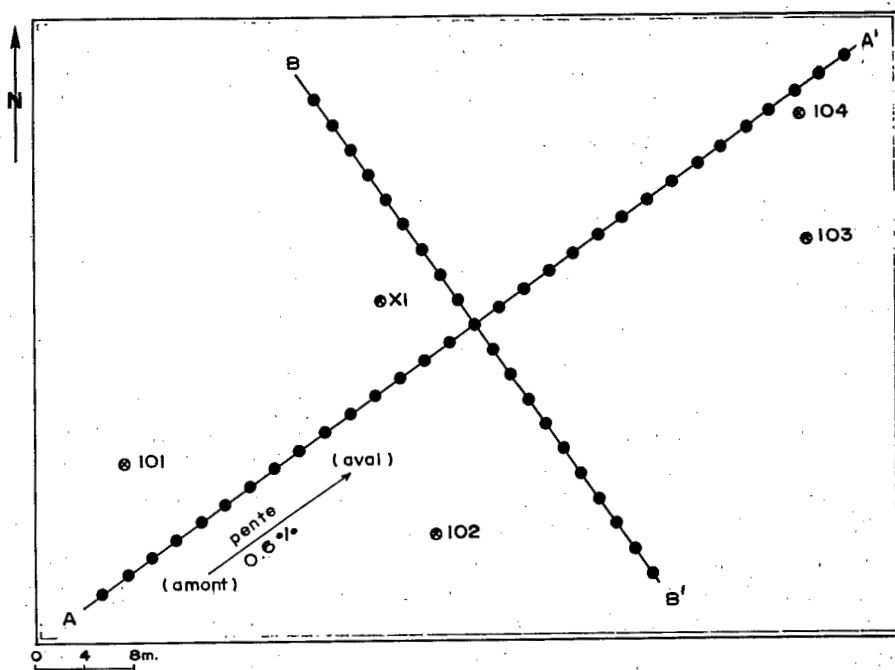
TABLEAU 1
 CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DU SOL DE LA STATION *HILARIA MUTICA* *

Profondeur (cm)	Texture (%)				pH eau	Carbone org. (%)	Azote total (%)	C/N	Conduct électr. (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	Gypse %	Capacité d'échange (még/100 g)
	Horizon	Argile	Limon	Sable								
0-6	A 11	37.5	20.0	42.5	8.4	0.55	0.062	8.9	1.2	19.0	7.5	19.7
12-20	B 21	51.5	12.0	36.5	8.9	0.57	0.061	9.3	1.1	23.0	8.9	22.5
30-40	B 21	51.1	14.0	34.9	8.9	0.38	0.043	8.8	0.5	21.3	9.5	23.5
45-55	B 21	55.1	12.0	32.9	8.8	0.38	0.033	11.5	6.8	20.7	9.9	24.5
75-82	II C1cs			26.9	8.2	0.34	0.020	17.0	11.9	17.6	17.1	32.1
110-120	II C2									17.3	4.8	

* (D'après Delhoume, 1988, p. 150).

Afin de déterminer la distribution spatiale du stock hydrique du sol au niveau de cette parcelle expérimentale, nous avons réalisé des prélèvements systématiques de sol à la tarière, avec des distances variables entre les points d'échantillonnage (de 0,30 à 5 mètres) et selon divers plans d'échantillonnage : en carré, en lignes et par combinaisons de lignes. Nous ne présenterons ici que les résultats obtenus avec l'échantillonnage réalisé avec un pas de 2,5 mètres, selon deux axes perpendiculaires (Fig. 1). L'un des axes, AA', correspond à la ligne de plus grande pente de la parcelle, tandis que l'autre axe, BB', perpendiculaire au précédent, correspond approximativement à une courbe de niveau.

Sur chacun de ces deux axes, des prélèvements ont été effectués tous les 2,5 mètres, et pour deux états hydriques extrêmes du sol : un état sec (prélèvements hors saison des pluies) et un état humide (prélèvements après des pluies importantes). Ces deux séries d'échantillonnage ont été réalisées à deux époques différentes et afin d'éviter les interférences entre les sites de prélèvements, les échantillons ont été prélevés, pour les deux états hydriques, selon deux lignes parallèles, distantes de 1 mètre, pour chacun des axes AA' et BB'. Pour chaque site d'échantillonnage, quatre prélèvements ont été effectués aux profondeurs suivantes : 0 à 15 cm, 15 à 30 cm, 30 à 45 cm et 45 à 60 cm. Nous n'avons pas échantillonné au-delà de cette dernière profondeur, car des essais de simulation de pluies réalisés par ailleurs ont montré que pour le type de sol étudié, l'infiltration de l'eau reste superficielle et ne dépasse pas 50 à 60 cm de profondeur, même avec des pluies importantes (60 à 80 mm). Cela est dû à la teneur argileuse du



- ⊙ Site de mesure de l'humidité du sol à l'humidimètre à neutrons.
- Echantillonnage à la tarière pour détermination du stock hydrique du sol.
- A-A' Axe d'échantillonnage selon la pente
- B-B' Axe d'échantillonnage perpendiculaire à A-A
- ▬ Limite de la parcelle expérimentale

Fig. 1. Station *Hilaria mutica*. Plan d'échantillonnage pour l'étude de la variabilité spatiale du stock hydrique du sol. (Distance d'échantillonnage = 2.50 m.).

sol et surtout à la présence d'argiles minéralogiques de type gonflant.

La teneur en eau pondérale a été déterminée sur chaque échantillon, après passage à l'étuve à 50-55°C jusqu'à poids sec constant (du fait de la présence de gypse, nous avons utilisé cette température de manière à ne pas prendre en compte l'eau de constitution de cet élément). L'humidité pondérale est transformée ensuite en humidité volumique par utilisation de la densité apparente du sol en place. Cette dernière a été déterminée, au niveau de la station, par un échantillonnage spatial systématique, au cylindre, et nous avons utilisé les valeurs moyennes obtenues pour chacun des niveaux de prélèvement. De la sorte, nous avons exprimé le stock d'eau du sol en millimètres, pour chacune des quatre tranches de sol échantillonnées, ainsi que pour l'ensemble du sol, de 0 à 60 cm.

Résultats - Interprétations

La quantité d'eau emmagasinée de 0 à 60 cm de profondeur dans le sol, représentée graphiquement (Fig. 2 et 3), varie spatialement de manière différente selon les deux axes d'échantillonnage.

D'une part, selon l'axe AA', c'est-à-dire le long de la ligne de plus grande pente, et bien que cette dernière soit très faible, 0,6%, le stock d'eau du sol augmente progressivement, lorsque on passe de l'amont vers l'aval et cette augmentation est nette aussi bien à l'état sec qu'à l'état humide, mais elle est plus accentuée pour ce dernier état hydrique du sol. Il apparaît donc un classement du stock hydrique du sol, en relation avec la pente.

D'autre part, selon l'axe d'échantillonnage BB', perpendiculaire au précédent, le stock d'eau du sol reste semblable et il n'existe plus de relation avec le classement observé ci-dessus, sauf pour les vingt premiers mètres de cet axe où l'on constate une augmentation du stock hydrique à l'état humide. Une étude topographique fine, postérieure, a montré qu'il existait, dans le sens B à B', une très légère pente, de l'ordre de 0,2%, suffisante cependant pour provoquer, à l'état humide, une augmentation du stock hydrique selon cette pente, comme ce que l'on observe ci-dessus pour l'axe AA'.

En valeur absolue, la différence d'eau stockée par le sol entre l'amont et l'aval de la parcelle (axe AA'), est relativement important : 159 mm en A et 219 mm en A' à l'état humide, soit une augmentation de 38%; 88 mm en A et 114 mm en A' à l'état sec, soit une augmentation de 30%.

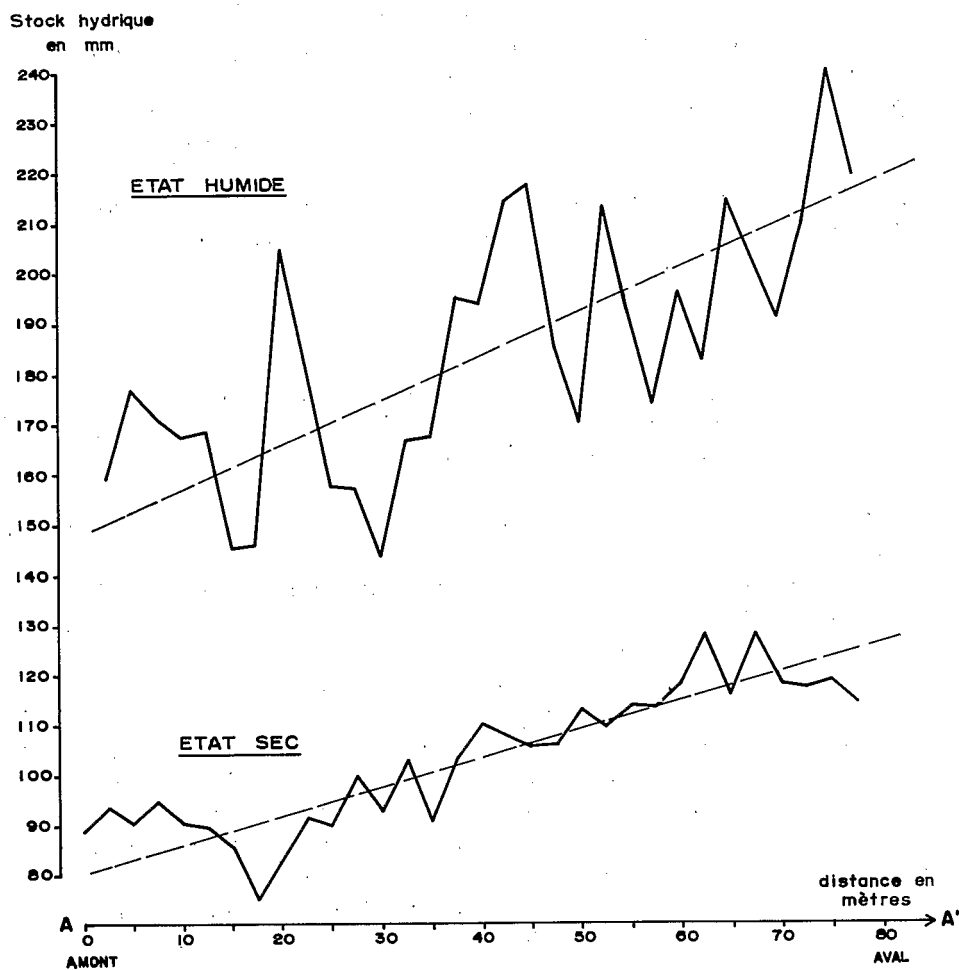


Fig. 2. Variation du stock hydrique du sol (0-60 cm) selon la pente (axe d'échantillonnage AA') pour deux états hydriques.

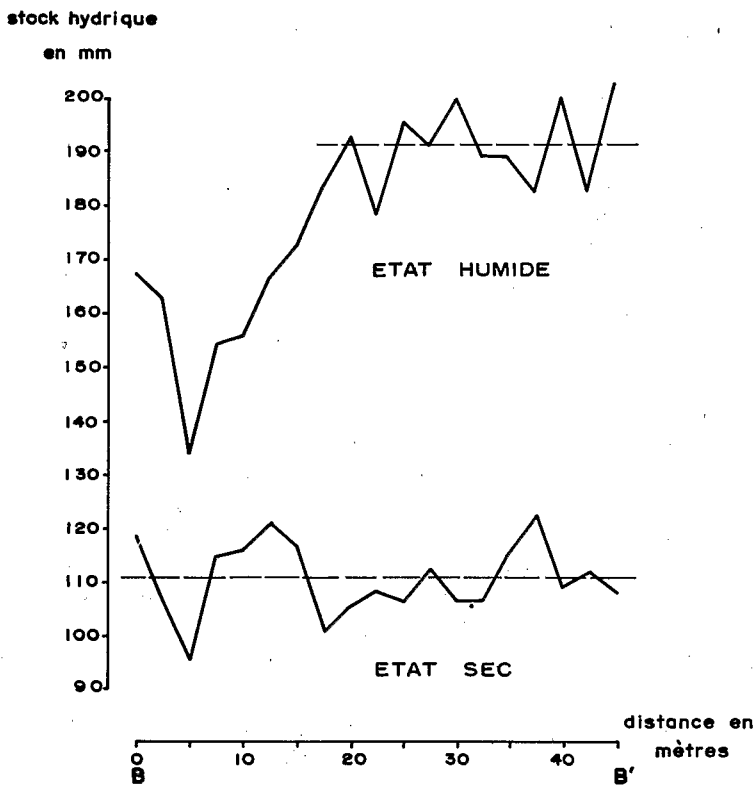


Fig. 3. Variation du stock hydrique du sol (0-60 cm.) perpendiculairement à la pente (axe d'échantillonnage BB') pour deux états hydriques.

Ainsi, après une pluie suffisamment importante, il y a donc redistribution de l'eau dans le paysage, qui se fait conformément à la pente, malgré la très faible valeur de cette dernière. Vis-à-vis de la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, cela se traduit par un stock hydrique du sol d'autant plus important que l'on va vers l'aval. Il est vraisemblable, compte tenu des caractéristiques hydrodynamiques du sol, étudiées par ailleurs, que la redistribution de l'eau se fait essentiellement en surface par ruissellement et que les transferts hydriques internes du sol sont pratiquement inexistantes, par suite de la texture lourde, de la présence d'argiles minéralogiques gonflantes et de la très faible porosité du milieu.

Après avoir vérifié (probabilité cumulée) que la distribution du stock hydrique du sol obéissait à une loi normale, nous avons exprimé la variabilité spatiale de ce stock par le coefficient de variation (CV, en %). Nous constatons ainsi (tableau 2) que celui-ci, pour le stock d'eau de 0 à 60 cm, est faible d'une manière générale et qu'il est légèrement plus élevé pour l'axe AA' que pour l'axe BB'. Pour chacun de ces deux axes, que ce soit à l'état sec ou à l'état humide, ce coefficient de variation est voisin.

Ce traitement statistique masque cependant la variabilité du stock d'eau sur de courtes distances. En effet, il est fréquent de constater que la quantité d'eau emmagasinée dans le sol varie fortement entre deux sites consécutifs d'échantillonnage, et cela d'autant plus lorsqu'il s'agit de l'état humide. Le long de l'axe AA' par exemple, d'un point de prélèvement au suivant, la quantité d'eau emmagasinée varie parfois fortement (augmentation de 30 à 40% ou diminution de 15 à 25%), alors que pour d'autres sites, cette variation est beaucoup plus réduite. Cette variabilité à courte distance est à mettre en liaison avec la distribution spatiale discontinue de la végétation, sous forme contractée, qui, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, se distribue en effet sous forme de touffes isolées en relief par rapport aux zones adjacentes, dénudées et en dépression. Ainsi, nous avons pu vérifier pour l'ensemble de l'échantillonnage, mais surtout à l'état humide, qu'il existait, globalement, une relation entre la quantité d'eau stockée par le sol et la distance existante entre le site d'échantillonnage et la touffe végétale la plus proche : plus l'échantillon est près d'une touffe, plus la quantité d'eau stockée est importante et inversement, dans les zones dénudées en dépression, la quantité d'eau emmagasinée est plus réduite. Cette relation, purement descriptive et morphologique pour l'instant, permet de justifier la différence de quantité d'eau stockée que nous avons mesurée entre deux points consécutifs d'échantillonnage. Nous étudierons ci-après plus en détail, dans l'article "Fonctionnement et dynamique de deux écosystèmes", l'hydrodynamique de ce milieu, qui est liée étroitement à la

microtopographie induite par la distribution contractée de la végétation, laquelle est à l'origine d'une redistribution différentielle de l'eau dans le sol en fonction de l'existence ou non d'une touffe végétale.

TABLEAU 2
PARAMETRES STATISTIQUES DU STOCK D'EAU (EN MM) DU SOL DE LA STATION
HILARIA MUTICA POUR DEUX ETATS HYDRIQUES EXTREMES

Etat sec								
Tranches de sol	Axe AA' (n = 32)				Axe BB' (n=49)			
	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)
0 - 15 cm	18,5	10,2	3,2	17,3	21,5	7,8	2,8	13,0
15 - 30 cm	25,9	9,0	3,0	11,6	27,4	3,2	1,8	6,5
30 - 45 cm	29,4	13,0	3,6	12,3	31,6	3,2	1,8	5,7
45 - 60 cm	29,3	32,5	5,7	19,5	30,4	21,2	4,6	15,1
stock 0-60 cm	103,2	183,1	13,5	13,1	110,8	46,2	6,8	6,1

Etat humide								
Tranches de sol	Axe AA' (n = 33)				Axe BB' (n=19)			
	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)
0 - 15 cm	54,9	23,0	4,8	8,7	50,4	22,1	4,7	9,3
15 - 30 cm	57,1	23,0	4,8	8,4	54,1	15,2	3,9	7,2
30 - 45 cm	43,8	114,5	10,7	24,4	43,6	56,3	7,5	17,2
45 - 60 cm	31,6	77,4	8,8	27,8	30,8	36,0	6,0	19,5
stock 0-60 cm	187,5	529,0	23,0	12,3	179,0	313,3	17,7	9,9

n = nombre d'échantillons

CV = coefficient de variation en %

D'une manière générale et par tranches de sol (tableau 2), la variabilité est plus accusée pour l'axe AA' que pour l'axe BB', pour un état hydrique donné. Selon chacun des deux axes d'échantillonnage, cette variabilité est légèrement plus accusée à l'état sec qu'à l'état humide pour les deux tranches supérieures du sol (0-15 et 15-30 cm), alors qu'elle est beaucoup

plus accentuée à l'état humide pour les deux tranches inférieures (30-45 et 45-60 cm).

L'étude expérimentale ci-dessus a ainsi mis en évidence deux types de variabilité spatiale du stock hydrique du sol, au niveau de la station considérée :

- d'une part, une variabilité au niveau parcellaire, liée à la pente : malgré la faiblesse de celle-ci, la quantité d'eau emmagasinée dans le sol augmente lorsque on va vers l'aval.

- d'autre part, une variabilité au niveau métrique, liée à la distribution discontinue de la végétation : plus on est proche d'une touffe végétale, plus la quantité d'eau stockée dans le sol est importante.

Le stock d'eau emmagasiné par le sol varie donc spatialement à deux niveaux, qui s'ajoutent ou se compensent selon les situations : d'une part, à une échelle élémentaire sur de courtes distances, d'autre part, à une échelle globale au niveau parcellaire.

Dans l'optique d'une étude du bilan hydrique du sol au niveau de cette station *Hilaria mutica*, la connaissance préalable de la variabilité spatiale du stock d'eau emmagasiné dans la couverture pédologique était indispensable. La mise en évidence, par une étude expérimentale simple, de deux types de variabilité spatiale du stock hydrique, nous a permis de positionner de manière rationnelle, les sites de mesures de l'humidité du sol (Fig. 1). D'une part, deux sites de mesures (102 et 104), installés à proximité immédiate de touffes végétales, permettront de prendre en compte la variabilité du stock d'eau liée à la distribution discontinue de la végétation. D'autre part, trois sites de mesures (101, X et 103), localisés respectivement à l'amont, au milieu et à l'aval de la parcelle, dans des zones dénudées, permettront de prendre en compte la variabilité spatiale liée à la pente.

Avec un tel dispositif de mesures, toute la variabilité spatiale du stock d'eau du sol est ainsi prise en compte et un bilan hydrique global à l'échelle de la parcelle pourra être envisagé.

Conclusion

Les travaux et les résultats présentés ci-dessus montrent, que dans l'optique d'une étude du bilan hydrique du sol au niveau parcellaire, il est absolument indispensable de réaliser une expérimentation préalable, simple, afin de mettre en évidence la variabilité spatiale du stock hydrique du sol. En l'absence d'une telle caractérisation, les sites de mesures de l'humidité du sol risquent d'être positionnés de manière aléatoire, ce qui ne

permet pas de rendre compte de manière exhaustive de toute la variabilité spatiale du stock d'eau au niveau de la station d'étude.

Bibliographie

- Delhoume, J.P.** 1988. Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative de la Réserve de la Biosphère de Mapimi (Durango). In: C. Montaña (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimi. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 135-165.
- Gascuel-Oudou, C.** 1987. Variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol, méthodes et résultats; cas d'une seule variable: revue bibliographique. *Agronomie*, 7 (1): 61-71.
- Rambal, S., Ibrahim, M. et Rapp, M.** 1984. Variabilité spatiale des variations du stock d'eau du sol sous forêt. Application à l'optimisation d'un dispositif de mesure du bilan hydrique. *Catena*, 11: 177-186.
- Ruelle, P., Ben Salah D. et Vauclin M.** 1986. Méthodologie d'analyse de la variabilité spatiale d'une parcelle agronomique. Application à l'échantillonnage. *Agronomie*, 6 (6): 529-539.
- Vachaud, G., Passerat de Silans A., Balabanis P. et Vauclin M.** 1985. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 822-828.
- Vauclin, M.** 1983. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. In: Variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols, Coll. Soc. Hydrotechn., Avignon, 24-25 juin 1982. *Les Colloques de l'INRA*, 15: 9-43.
- Vieira S.R., Nielsen D.R. et Biggar J.W.,** 1981. Spatial Variability of Field-Measured Infiltration Rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 1040-1048.
- Walter, C.** 1989. Analyse de la variabilité spatiale des propriétés du sol au sein de trois unités cartographiques. *Science du Sol.*, 27 (1): 73-76.
- Webster, R.** 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, vol. 3: 2-70.

REDISTRIBUCION ESPACIAL DEL AGUA EN EL PAISAJE ESCURRIMIENTO Y EROSION HIDRICA A TRAVES DE UNA TOPOSECUENCIA

David Viramontes Pereida

Resumen

Se presentan los resultados de la cuantificación del escurrimiento y la erosión hídrica, registrados a lo largo de un transecto topográfico, cerro-bajada inferior, donde se han instalado cuatro estaciones de estudio. Una microcuenca de 6.6 ha y tres parcelas de erosión de 500 y 1000 m². Cada estación presenta condiciones diferentes de topografía, estado de superficie, suelo y vegetación.

En condiciones actuales, los sitios en la parte baja generan más escorrenfía que los sitios en la zona de relieve. El pie de monte y las bajadas son áreas importantes de aporte de agua de lluvia hacia las zonas bajas, mientras que en el cerro existe una gran infiltración.

En esta región árida, ocurren muy pocas lluvias excepcionalmente fuertes, sin embargo, son las causantes de la principal pérdida de suelo.

Introducción

En la región de Mapimí, así como en otras zonas áridas, el agua es el limitante de la producción agrícola y ganadera. La redistribución del agua en el paisaje y su almacenamiento en el suelo, son el factor primordial para el mantenimiento de las actividades humanas en esta zona. Sin embargo, es una región ecológicamente frágil, que debido a las presiones socioeconómicas cada vez mayores, sufre una intensificación en la explotación de sus recursos naturales. Esto implica, el riesgo irreversible de degradación del medio ambiente.

En México, el 80% de la superficie total del territorio se encuentra afectado en diferentes grados de erosión. (XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 1987). La evaluación de los procesos erosivos, es de gran importancia porque permite conocer el mecanismo del fenómeno, y ayuda a implementar las medidas correctivas para su control.

El presente trabajo muestra los primeros resultados de la cuantificación del escurrimiento y erosión hídrica, realizado mediante lotes de escurrimiento, en cuatro estaciones de medidas, representativas del área de estudio.

Ubicación

Con previo conocimiento de la región, se estableció un transecto representativo, en base a similitudes físicas y biológicas del medio ambiente. La toposecuencia se encuentra en el centro aproximado de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y se extiende a lo largo de 2 km con orientación este sureste - oeste noroeste (Fig. 1). Inicia en la zona de relieve o cerro y continúa en disminución de la pendiente hasta la bajada inferior. Se establecieron cuatro estaciones de estudio : una microcuenca en el cerro San Ignacio, y tres parcelas de erosión en los sitios pie de monte, bajada superior y bajada inferior. Cada estación representa una unidad ambiental, excepto la microcuenca que incluye a varias unidades pequeñas.

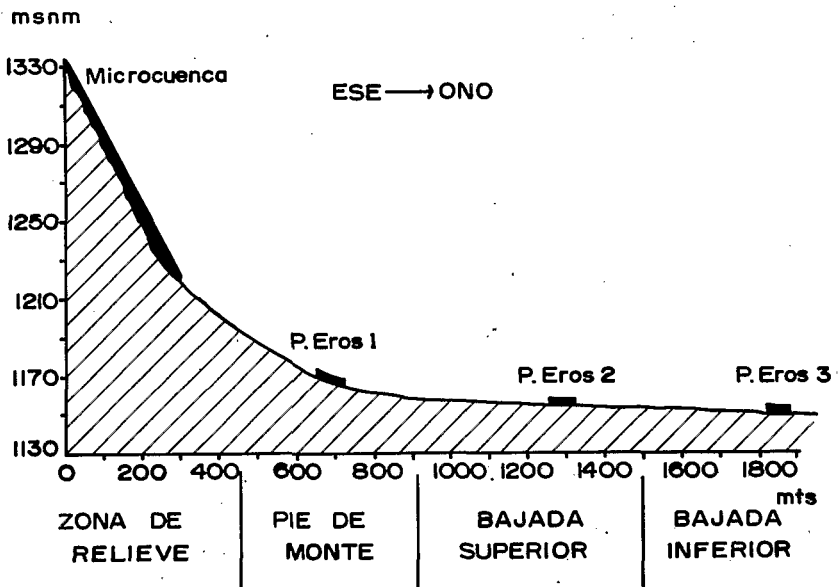


Fig. 1. Ubicación de las estaciones de estudio en la toposecuencia.

Metodología

La metodología empleada es la parcela de erosión o lote de escurrimiento, que es un modelo estático y aislado por límites arbitrarios (en el caso de las parcelas), o naturales (la microcuenca). Esto nos permite estudiar los mecanismos del escurrimiento y sus consecuencias (erosión en particular).

Cada una de las estaciones cuenta con una red pluviométrica, una fosa o pileta de recepción de sedimentos en la parte baja de la estación, y un sistema de control de salida del agua que permite determinar el volumen escurrido (Fig. 2).

Los sistemas utilizados para la cuantificación del escurrimiento fueron de dos tipos (Fig. 3) :

- a) Limnígrafo y vertedor, para las estaciones microcuenca y parcela de erosión 1.
- b) Repartidor de agua, para las estaciones parcela de erosión 1 y 2.

Las medidas de pluviometría, escurrimiento y erosión, se realizaron después de cada evento, durante la temporada de mayor probabilidad de lluvia (mayo a octubre).

Descripción de las estaciones

Estación microcuenca :

Se encuentra en el cerro San Ignacio y es el inicio de la toposecuencia. Tiene una superficie de 6.64 ha. sobre un terreno irregular montañoso, con causes de arroyos importantes y límites naturales. Su pendiente es bastante heterogénea de 15 a 55%. Se diferencian 16 pequeñas unidades ambientales referentes a suelo y vegetación. En terminos generales, en cuanto al estado de la superficie del suelo, la microcuenca muestra peñas y grandes rocas ígneas basálticas no alteradas, así como bloques y piedras angulares, con una considerable cantidad de gravas y mantillo. El suelo desnudo es casi inapreciable. El tipo de suelo es Litosol y Regosol sobre coluviones gruesos. Globalmente, la estación presenta 28.6% de cobertura vegetal y 91.8% de biovolumen. Las principales especies son *Heteropogon contortus*, *Larrea tridentata*, *Tridens pulchellus* y *Trichachne californica*.

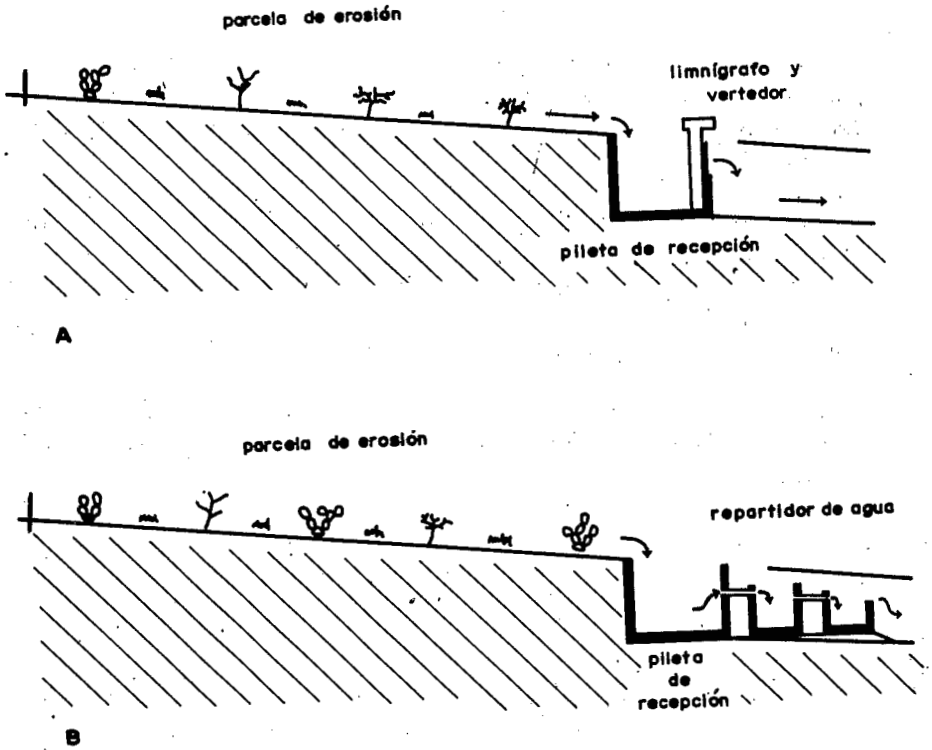


Fig. 2. A Sistema microcuenca y parcela 1; B Sistema parcelas 2 y 3.

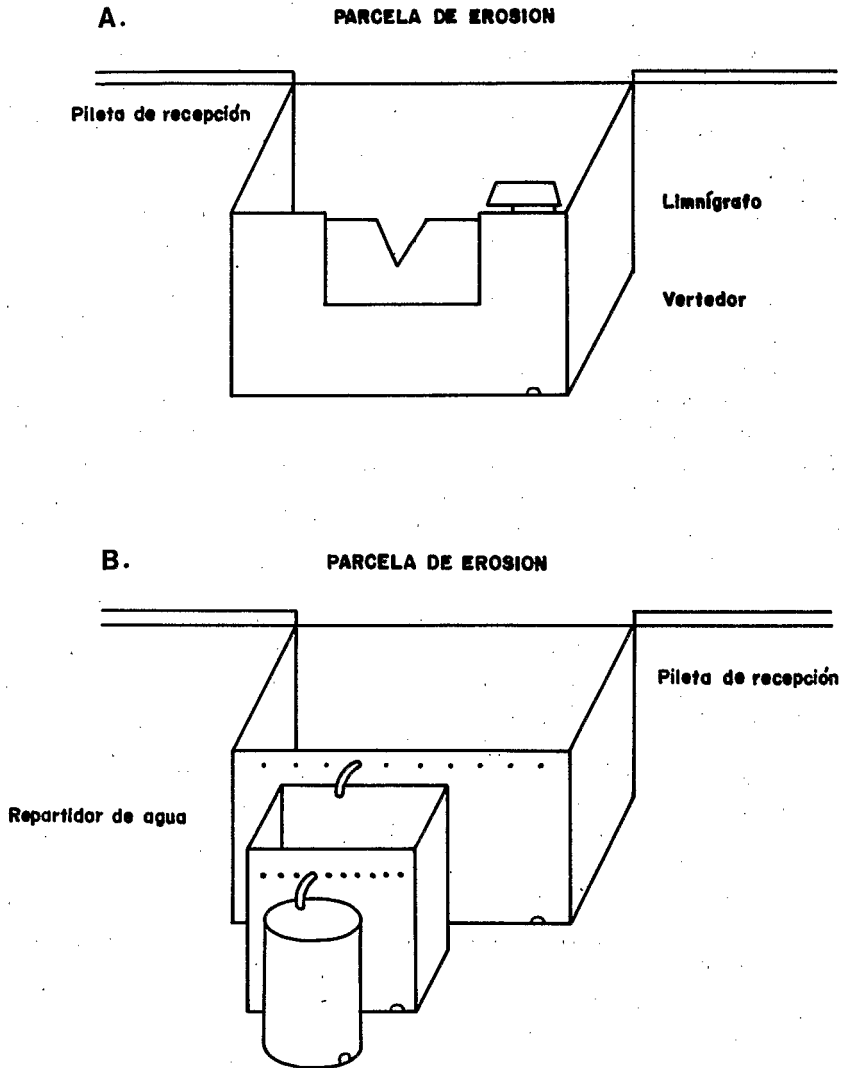


Fig. 3. Sistemas de cuantificación de escurrimiento y erosión para parcelas y microcuenca.
A. Utilizando limnógrafo; B. Por medio de repartidor de agua.

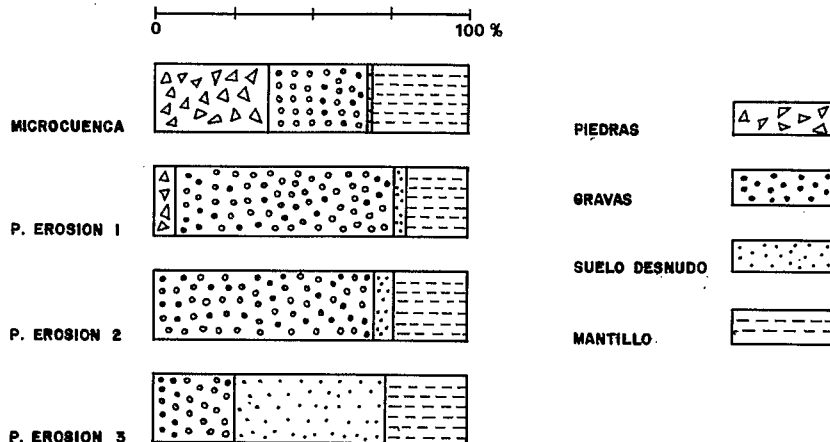
Parcelas de erosión

Estación Parcela de erosión 1 : está situada en el pie de monte, tiene una superficie de 975 m² sobre un terreno con una pendiente regular de 6.3%. Sobre la superficie del suelo, se observan pocos bloques y algunas piedras, el terreno es muy gravoso. El mantillo cubre la quinta parte aproximadamente y el suelo desnudo ocupa menos del 4%. El tipo de suelo es Regosol sobre coluviones medios, reposando sobre material calcáreo autóctono. Presenta una cobertura vegetal de 10.8% y un biovolumen de 21.5%. Las especies dominantes son *Larrea tridentata*, *Jatropha dioica*, *Fouquieria splendens* y *Tridens pulchellus*.

Estación parcela de erosión 2 : ubicada en la bajada superior, tiene una superficie de 510 m² sobre un terreno poco irregular por la presencia de microlomas bajo la vegetación y microdepresiones en las áreas descubiertas. La pendiente es de 1.5%. La superficie del suelo es gravosa con muy pocas piedras, el suelo desnudo representa cerca del 7% y el mantillo cubre el 23% del terreno. El tipo de suelo es Yermosol modal sobre aluviones medios, reposando sobre material calcáreo autóctono. Tiene una cobertura vegetal de 17.4% y un biovolumen de 55.9%. Las principales especies son *Opuntia rastrera* y *Larrea tridentata*.

Estación parcela de erosión 3 : se localiza en la bajada inferior, tiene una superficie de 500 m² sobre un terreno plano. La pendiente es de 0.8%. Sobre su superficie, el suelo desnudo se observa en casi la mitad del terreno, las gravas han disminuido y sólo representan un 26%. El mantillo cubre el 27% de la superficie. El tipo de suelo es Xerosol sobre aluviones medios y finos, reposando sobre un material calcareo autóctono. Presenta una cubierta vegetal del 7.9% y un biovolumen 9.4%, es la estación mas desprovista de vegetación. Las especies dominantes son *Tridens pulchellus* y *Larrea tridentata*.

Observación global de la toposecuencia : a través del transecto, se observa en dirección arriba-abajo, una disminución neta de tamaño y cantidad de los elementos gruesos y un aumento de suelo desnudo; el mantillo en cambio se mantiene casi igual (Fig. 4).

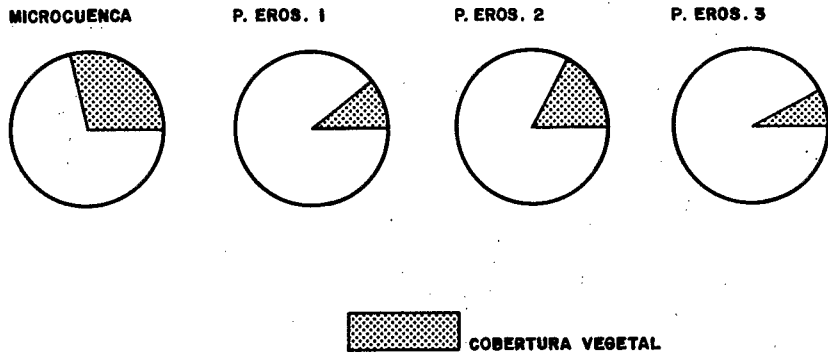


Estado de superficie del suelo

Estación	Piedras %	Gravas %	Suelo desnudo %	Mantillo %
Microcuencia	36.5	31.9	0.8	30.9
P. Eros.1	6.4	70.1	3.5	20.0
P. Eros. 2	0.0	70.3	6.6	23.0
P. Eros. 3	0.0	26.1	46.8	27.1

Fig. 4. Estado de la superficie del suelo de las diferentes estaciones.

La cobertura vegetal siempre es escasa, menos de 30% en la estación más abundante (microcuencia). Las especies más ampliamente distribuidas son *Larrea tridentata*, *Tridens pulchellus*, *Jatropha dioica* y *Opuntia rastrera* (Fig. 5).



Estación	Vegetación		
	Cobertura %	Biovolumen %	No. de especies
Microcuencana	28.6	91.8	45
P. Eros. 1	10.8	21.5	12
P. Eros. 2	17.4	55.9	16
P. Eros. 3	7.9	19.4	16

Fig. 5. Proporción de la cobertura vegetal para las diferentes estaciones.

Pluviometría, escurrimiento y erosión (1987-89)

La lluvia es el factor que condiciona el escurrimiento y la erosión hídrica. Su presencia es baja y errática, con una distribución muy irregular en el tiempo y espacio.

La pluviometría anual promedio entre las estaciones fue 133.2 mm durante 1988 y 130.1 mm en 1989. Durante estos años de medición, la lluvia total generada, ha resultado menos de la mitad del promedio de lluvia anual de la región.

En la temporada de estancia y colecta de datos, se logró obtener más del 80% del total de precipitación anual. Solamente 12 a 18% de los días entre mayo a octubre registraron lluvias, y de estos días, menos de la mitad generó escorrentía en alguna de las estaciones, no obstante de ser ésta, la temporada de mayor precipitación.

La microcuenca

En general la zona de relieve presenta un tipo de escurrimiento encauzado. En la microcuenca sólo se produjeron siete eventos de escurrimiento en la temporada de 1987, tres durante 1988 y únicamente uno en 1989. Esta estación es la que presenta el menor índice de escurrimiento, su promedio anual no ha alcanzado el 0.5%. Por lo general la mayoría de los eventos presentaron una tasa menor del 1%. El valor máximo de escorrentía registrado es 14.6%; fue una lluvia excepcionalmente fuerte que registró el 96% del total de agua vertida durante 1987. La lámina de lluvia menor que ha producido escurrimiento es 3.3 mm, con una intensidad fuerte.

La erosión que se genera, comúnmente es mínima aunque bastante variable, los valores totales anuales han sido: 752.0, 13.4 y 27.6 kg/ha; para los años 87, 88 y 89 respectivamente. Pocas veces rebasa a 10 kg/ha por evento, sin embargo el valor máximo alcanzado fue de 732.3 kg/ha es decir el 98% del suelo erosionado anual durante 1987 y 54 veces más que el total de 1988. Esta variabilidad es la que puede resultar desastrosa en el medio ambiente.

Parcela de erosión 1

Esta estación presenta un tipo de escurrimiento en manto y ligeramente encauzado. Se produjeron diez eventos de escorrentía en 1987, nueve durante 1988 y tres en 1989. El promedio de escurrimientos registrados en las tres temporadas, fue 26.4, 13.6 y 24.2% respectivamente. Los registros son muy variables por cada evento, alcanzando un máximo de 54.5% de escurrimiento. Su lámina de lluvia mínima que ha generado escorrentía fue 3.2 mm. La erosión total anual acumulada fue 1850, 90, y 492 kg/ha en cada uno de los tres años respectivamente. La variabilidad del suelo perdido

en cada evento es grande, el máximo alcanzado en una sola lluvia ha sido 1258 kg/ha, el 68% del total anual de 1987, y más de toda la erosión del año siguiente.

Parcela de erosión 2

El tipo de escurrimiento presente en esta estación es en manto. Se registraron 8 eventos de escorrentía durante 1988 y únicamente 4 en 1989. El promedio anual de escurrimiento en las temporadas 88 y 89 fue del 22.0 y 21.4% respectivamente. El valor máximo de escurrimiento obtenido en un solo evento ha sido de 68%. La lámina de precipitación mínima que ha generado escurrimiento es 5 mm. La erosión total anual acumulada durante 88 y 87, fue de 437 y 320 kg/ha respectivamente. La variabilidad del suelo perdido en cada evento, es grande, el valor mayor alcanzado en una sola lluvia es de 181 kg/ha, el 40% del total anual erosionado.

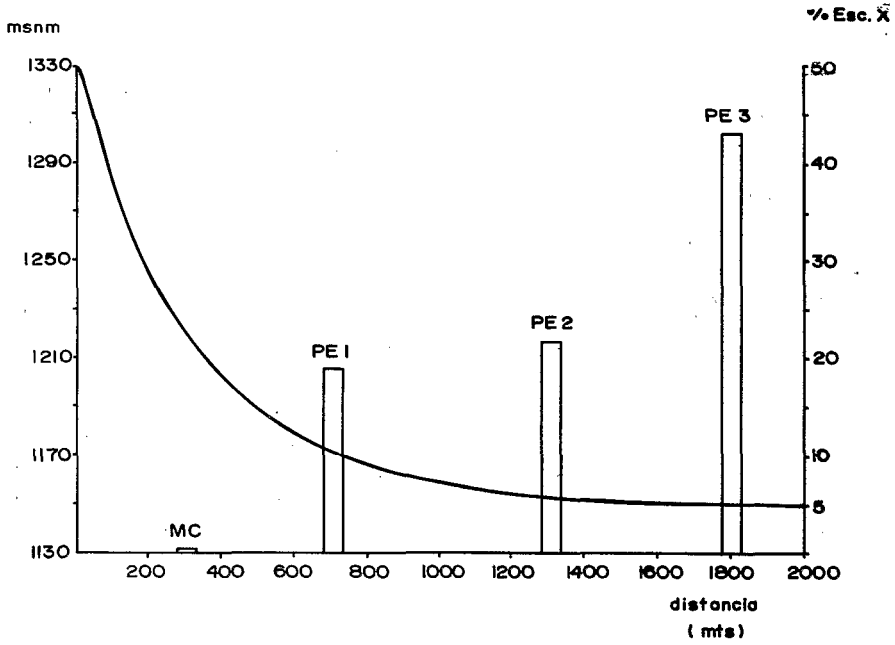
Parcela de erosión 3

Esta estación presenta el tipo de escurrimiento en manto. Se registraron nueve eventos de escurrimientos durante 1988 y cinco en 1989. El promedio anual de escorrentía en las temporadas 88 y 89 fue 41.0 y 45.1%. Existe una variabilidad grande entre los eventos, logrando un máximo de 99.8% de escurrimiento, casi toda el agua precipitada salió por la parcela. La lámina de precipitación mínima que ha generado escurrimiento es 3 mm. La erosión total acumulada durante 88 y 89 fue de 1494 y 1110 kg/ha respectivamente. Presenta un máximo de suelo perdido en un sólo evento de 681 kg/ha, es decir, cerca de la mitad del total anual.

Comparación e Interpretación

Entre las estaciones, la que registra el mayor índice de escurrimiento es la parcela 3, y en ese orden la parcela 2 y 1; la microcuenca muestra una notable diferencia menor.

Presentando una comparación del escurrimiento a través de la toposecuencia (Fig. 6), se observa un orden inverso a lo esperado; cuanto mayor es la pendiente menor es el índice de escurrimiento.



% de escurrimiento promedio

Estación	Microcuenca	P. Erosión 1	P. Erosión 2	P. Erosión 3
1987	3.94	26.4	*	*
1988	0.23	13.6	22.0	41.0
1989	0.40	24.2	21.4	45.1

* Aún no existía instalación

Fig. 6. Esgurrimiento promedio 1988-89 a través de la toposecuencia.

Aparentemente, con los datos obtenidos hasta ahora, la altura de precipitación no tiene relación con el porcentaje de escurrimiento. Las lluvias grandes o chicas pueden o no ocasionar flujo de agua. Esto no ocurre con la intensidad de precipitación. Las lluvias fuertes generan escurrimiento aún cuando sean grandes o pequeñas. Sin embargo, todavía no existen suficientes datos para presentar análisis estadísticos confiables.

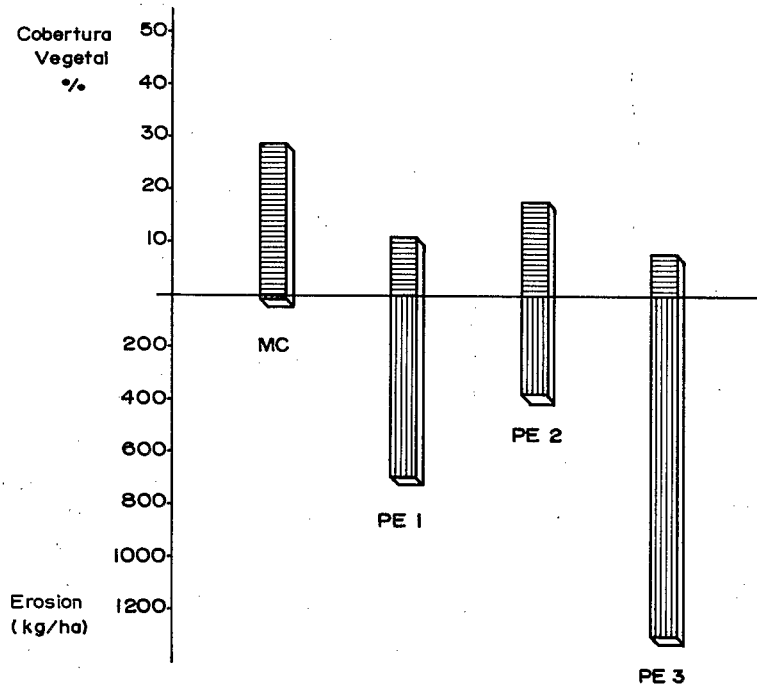
El sitio donde se registró el mayor suelo perdido por la acción hídrica, es la parcela 3 en la bajada inferior, y en ese orden, la parcela 1 y 2. En la microcuenca se observa una diferencia menor muy notable (Fig. 7). En este orden es igual e inverso con la cobertura vegetal.

En la Fig. 8, se presenta una comparación entre el escurrimiento promedio y la erosión total anual registrada en las diferentes estaciones. Como se sabe, cuanto mayor es el escurrimiento, más erosión se genera, sin embargo, la parcela 2 parece hacerlo a un ritmo más lento que las demás estaciones; los factores que en este caso intervienen son diversos, como la vegetación (presenta la mayor cobertura y biovolumen entre las parcelas) y la superficie del suelo; sin embargo la característica aparente más importante es la microtopografía del suelo. La parcela 2 presenta una rugosidad del terreno considerable; en la Fig. 9 podemos observar como el escurrimiento se vuelve sinuoso, perdiendo velocidad entre la irregularidad de la superficie y depositando al suelo en suspensión.

Discusión y Conclusiones

Cada una de las estaciones es representativa del medio ambiente, con características físicas y biológicas diferentes (pendiente, suelo, vegetación, etc.), esto les condiciona un comportamiento propio en su hidrodinámica superficial.

La estación diferente más notable es la microcuenca. Por su área considerablemente mayor debe tomarse en cuenta para no hacer comparaciones cuantitativas directas con las parcelas de erosión, ya que propiciaría errores de cambio de escala. En la microcuenca más del 95% del agua precipitada se infiltra. A diferencia de las parcelas, el subsuelo juega un papel determinante en el escurrimiento. La estructura litológica del cerro San Ignacio, tiene sus estratos en forma inversa a la pendiente del área de captación (Fig. 10), por lo que podemos suponer que del otro lado de la estación, el escurrimiento generado es mayor. El agua se drena entre



Estación	Erosión anual kg/ha			
	Microcuena	P. Erosión 1	P. Erosión 2	P. Erosión 3
1987	752.0	1850.0	*	*
1988	13.4	900.0	437.0	1494.0
1989	27.6	492.0	320.0	1110.0

* Aún no existía instalación.

Fig. 7. Erosión anual 1988-89 y cobertura vegetal.

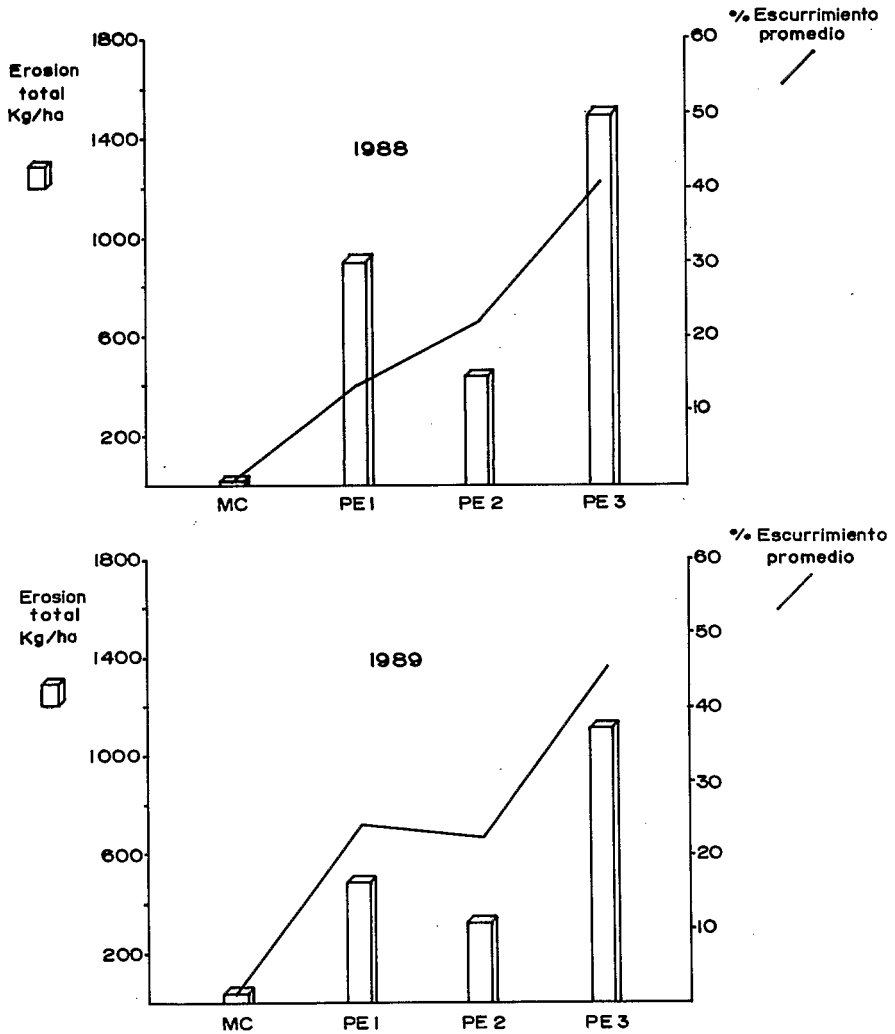


Fig. 8. Esguimiento promedio y erosión total anual en las estaciones (1988 y 1989).

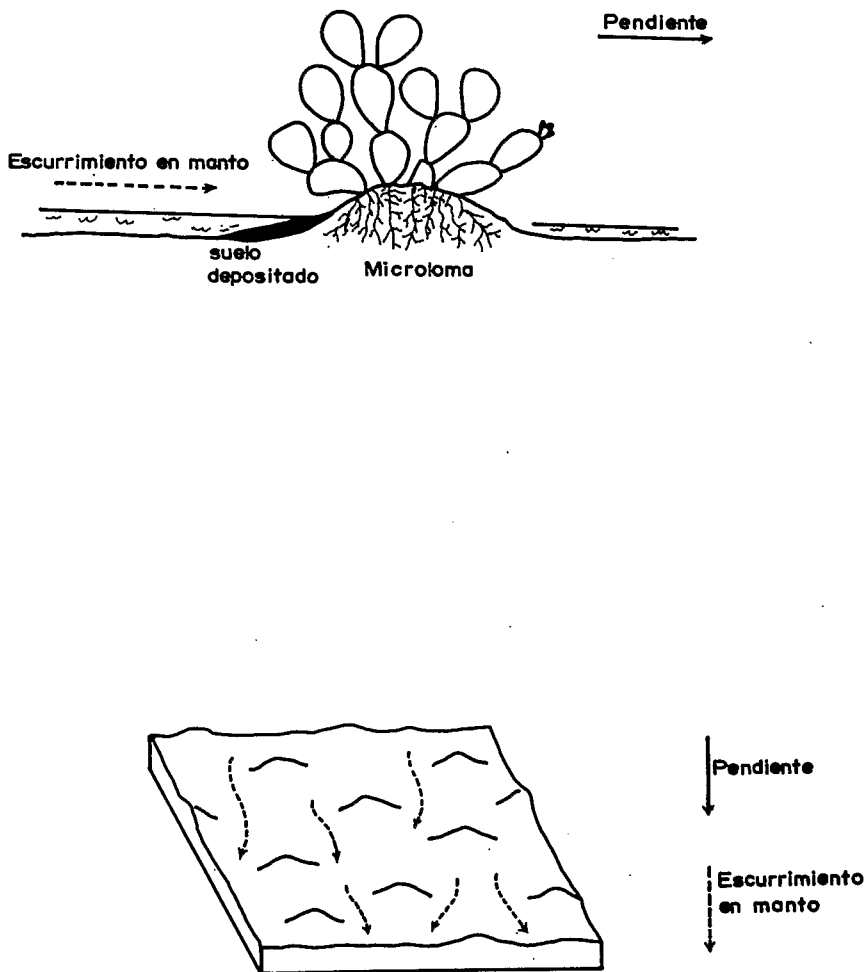


Fig. 9. Escorrimento en la parcela de erosión 2.

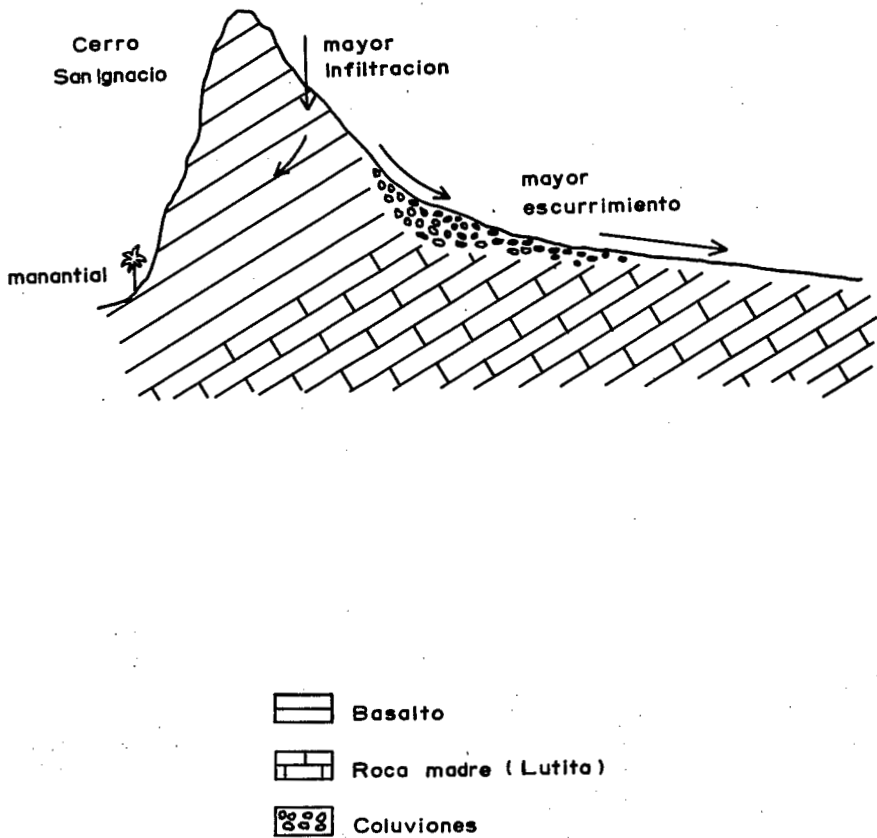


Fig. 10. Infiltración y escurrimiento en el área de estudio según la topografía y la litología.

las grietas y grandes rocas y es almacenada en los espacios abiertos del interior del cerro. Esto puede explicar la existencia de manantiales en la parte baja del lado opuesto a la estación.

En el pie de monte y las bajadas, el agua pocas veces rebasa los 60 cm de profundidad, son la superficie del suelo y los primeros horizontes los que intervienen en la posibilidad del escurrimiento. Estas áreas son importantes fuentes de aporte de agua de lluvia hacia las zonas más bajas. En condiciones actuales, los sitios de la parte baja en la toposecuencia de estudio, generan más escorrentía que los sitios de la parte alta.

La cosecha de agua para la ganadería, puede realizarse aprovechando los cauces naturales en sitios al nivel de las bajadas, mediante la construcción de presas o cisternas colectoras de escurrimientos superficiales.

Como se observa en la parcela de erosión 2, la rugosidad del terreno producida por la vegetación y la fauna edáfica, puede jugar un papel importante en la conservación del suelo.

Las lluvias grandes, excepcionales de intensidad fuerte que en ocasiones se presentan en esta región, son las principales responsables de la acción erosiva. Estas pueden ser causantes de un deterioro ecológico radical, y una pérdida de la capacidad productiva, en caso de no tener un manejo adecuado de los recursos naturales.

El principal problema de esta región es la falta de agua, sin embargo la solución no es que llueva más, pues el medio ambiente esta acondicionado a este régimen natural, que si se altera causaría trastornos ecológicos irreversibles. En esta región existe una redistribución del agua en el paisaje que propicia diferentes condiciones de humedad del suelo, lo que se manifiesta en las formaciones vegetales.

Literatura citada

- Delhoume J.P. 1981. Etudes en milieu méditerranéen semi-aride. Ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie Centrale. ORSTOM, Ministère de l'Agriculture, République Tunisienne.
- Roose, E.J. 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Travaux et documents de l'ORSTOM. Paris, France.
- XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 1987. Memorias. SARH, INIFAP, Zacatecas, México.



CARTOGRAPHIE DES ETATS DE SURFACE D'UNE TOPOSEQUENCE REPRESENTATIVE DU BASSIN VERSANT DE SAN IGNACIO

**Jean-Louis Janeau
Rosario Ruíz de Esparza Villarreal**

Resumen

Cartografía de los estados de superficie de una toposequencia representativa de la Cuenca hidrológica de San Ignacio. Los estados de superficie (suelo y vegetación) en la zona árida del norte de México condicionan el escurrimiento y el llenado de los presones indispensables para la ganadería extensiva en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Así pues es necesario estudiar la hidrodinámica superficial, caracterizar los diferentes estados de superficie y comprender el funcionamiento entre los parámetros del medio. Este es el objetivo del artículo, que aporta además de una caracterización de la hidrodinámica superficial a lo largo de una toposequencia representativa de la cuenca en estudio, una aplicación práctica de la utilización de cartas obtenidas por la metodología enunciada en el presente documento.

Résumé

Les états de surface (sol et végétation) en zone aride du nord Mexique conditionnent le ruissellement et le remplissage des retenues artificielles indispensables à l'élevage extensif de la Réserve de la Biosphère de Mapimi. Il est donc nécessaire, afin d'étudier l'hydrodynamique superficielle, de répertorier les différents états de surface et d'en comprendre le fonctionnement par rapport aux paramètres édaphiques du milieu. C'est l'objet de cet article qui détermine, outre une caractérisation de l'hydrodynamique superficielle le long d'une toposequence représentative du bassin versant étudié, une application pratique de l'utilisation des cartes obtenues par la méthodologie énoncée au cours de ce document.

Abstract

Map of the states of surface of a topographical sequence of the San ignacio catchment. The states of surface (soil and vegetation) in the arid area in northern Mexico are conditioning the rain run-off and the filling-up of artificial low-volume dams, essential for extensive cattle breeding in the Biosfere Reserve of Mapimi. So, it is necessary for the study of superficial hydrodynamics, to list the different states of surface and to understand from these functioning among to the edaphic parameters of this environment. That is the subject of this article which contributes, in addition to a characterization of the superficial hydrodynamics along a topographical sequence representative of the catchment in study, a practical application of the use of maps obtained through the methodology exposed in this document.

Introduction

Les observations ont été effectuées sur une toposéquence située au centre de la Réserve de la Biosphère de Mapimi, en zone aride du nord Mexique. Celle-ci, décrite par Delhoume (1988) s'étend du "Cerro San Ignacio" jusqu'au "Preson" artificiel du même nom.

Ce transect, représentatif du milieu, comprend cinq unités géomorphologiques qui sont d'amont en aval : le *cerro*, le piedmont, la *bajada* supérieure, la *bajada* inférieure et une dépression de *bajada*.

A chaque localisation des unités de milieux correspondent une ou plusieurs surfaces élémentaires définies à partir du catalogue des états de surface de la zone sahéenne, établi par Casenave et Valentin (1988). Le terme de "surface élémentaire" désigne, à un instant donné, un ensemble homogène constitué par des éléments du milieu tels le couvert végétal, la surface du sol et les organisations pédologiques superficielles qui ont subi des transformations, sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques.

Pour toutes les observations sur ces unités de milieux, ont été associés le relief, la végétation (Ruíz de Esparza Villarreal, 1986), les différents types de croûtes (organisations pédologiques superficielles) en définissant leur origine et leur fonctionnement. Le résultat est la détermination de surfaces élémentaires dont le regroupement donne une cartographie d'états de surface hiérarchisés quant à leur fonctionnement hydrodynamique.

Le but de ce travail est d'étudier la distribution spatiale de ces surfaces élémentaires et de voir leur rôle ainsi que les relations pouvant exister entre celles-ci et certains paramètres du milieu telle que la topographie.

Description de la toposéquence

A. Zone de relief ou Cerro. Pente supérieure ou égale à 25%.

Végétation :

Zone de végétation saxicole. C'est un matorral composé de *Larrea tridentata*, *Agave asperrima*, *Agave lecheguilla* et *Euphorbia antisiphilitica*. Ils sont accompagnés généralement par *Jatropha dioica* et *Fouquieria splendens*. Couverture de 26 à 40% (variation saisonnière).

Deux surfaces élémentaires :

a) Surface de type grossier (Fig. 1) : il s'agit d'une croûte structurale à 3 microhorizons sous un épandage de roches et de graviers; ces derniers ne sont pas ou peu enchassés dans des sables grossiers, des sables fins et dans une pellicule plasmique à porosité vésiculaire. Quelques blocs rocheux épars couvrent moins de 5% de la superficie de cette surface élémentaire. Le micro-profil présente une structure à porosité fissurale importante.

b) Surface de type grossier mais dont le recouvrement de graviers et de pierres est discontinu. Dans la pellicule plasmique, de nombreux éléments grossiers sont inclus. Surface inférieure à 5% de l'unité.

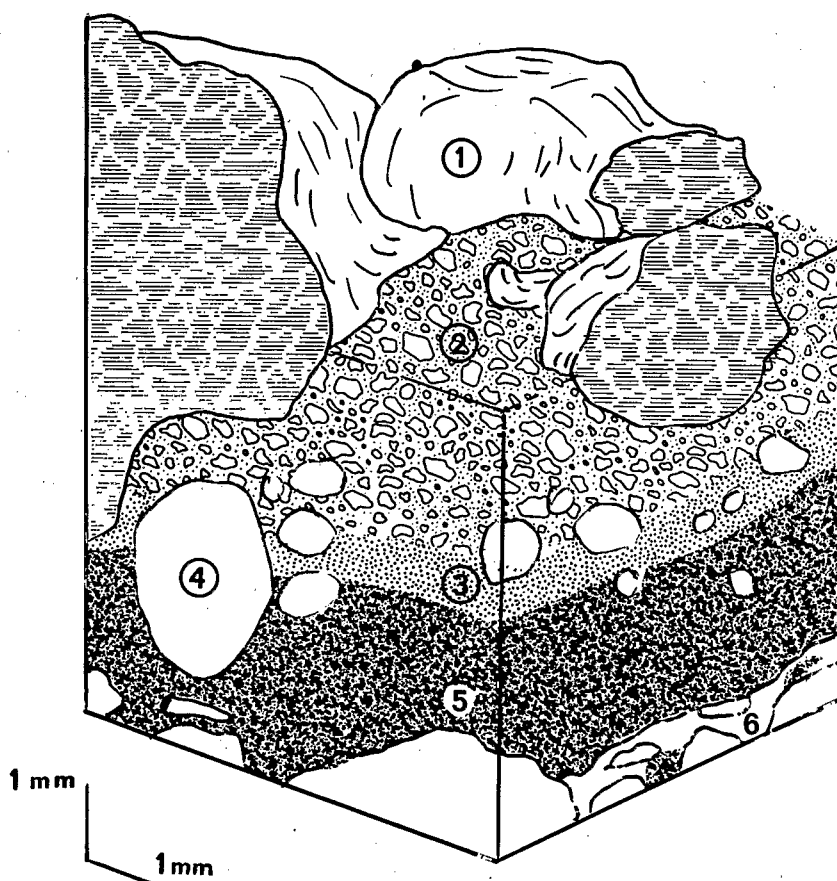


Fig. 1. Surface de type grossier. 1. Eléments grossiers; 2. Sables grossiers; 3. Sables fins; 4. Porosité vésiculaire; 5-6. Plasma à éléments grossiers.

Genèse de ces deux types de croûte :

Les graviers et pierres sont issus de la désagrégation physique des roches formant ce massif montagneux. La distribution granulométrique des sables et des éléments fins constituant la pellicule suit l'ordre inverse de la sédimentation. Il s'agit d'un tri granulométrique, sous l'effet cumulé de nombreuses pluies (effet de tamis).

Influence sur le ruissellement :

La couverture d'éléments grossiers joue un rôle ambivalent (Valentin, 1988) :

- par la protection du sol vis-à-vis de l'énergie cinétique de la pluie et par la limitation de la vitesse d'écoulement de l'eau, elle donne un faible ruissellement : inférieur en moyenne à 3% (données du micro-bassin versant, installé sur les hauts de pentes du *cerro*).

- par contre, sous pluie importante, d'au moins 40 mm et d'intensité supérieure à 60 mm/h (Delhoume *et al.*, à paraître), elle favorise le ruissellement instantané qui se concentre sur les quelques rares zones à recouvrement discontinu de cette unité.

B. Zone de piedmont. Pente de 6% (zone aval) à 25% (zone amont)

Végétation :

A proximité des sites de ruissellement se concentrent *Flourensia cernua*, *Cordia parvifolia*, *Buddleja marrubiiifolia*, *Lippia graveolens*, *Tecoma stans*. Parmi les végétaux dispersés nous trouvons essentiellement *Agave asperrima*, *Larrea tridentata*, *Fouquieria splendens*, *Opuntia rastrera*. Couverture de 27,3 à 32,5%.

Deux types de surfaces :

a) Surface à épandage de colluvions grossières, même type de surface que les pentes fortes du *cerro*, mais absence de blocs de diamètre supérieur à 50 cm.

b) Surface incisée de la surface du sol par des ravinaux. Ces derniers sont à surface d'épandage d'éléments grossiers et à surface de ruissellement (Fig. 2). Environ 5% d'occupation de la surface totale du piedmont.

Genèse :

Identique à la zone de relief pour les épandages d'éléments grossiers (éboulis). Pour les sites de ruissellement, nous trouvons un type de croûte formée sous l'influence d'une lame d'eau en mouvement (ruissellement hiérarchisé).

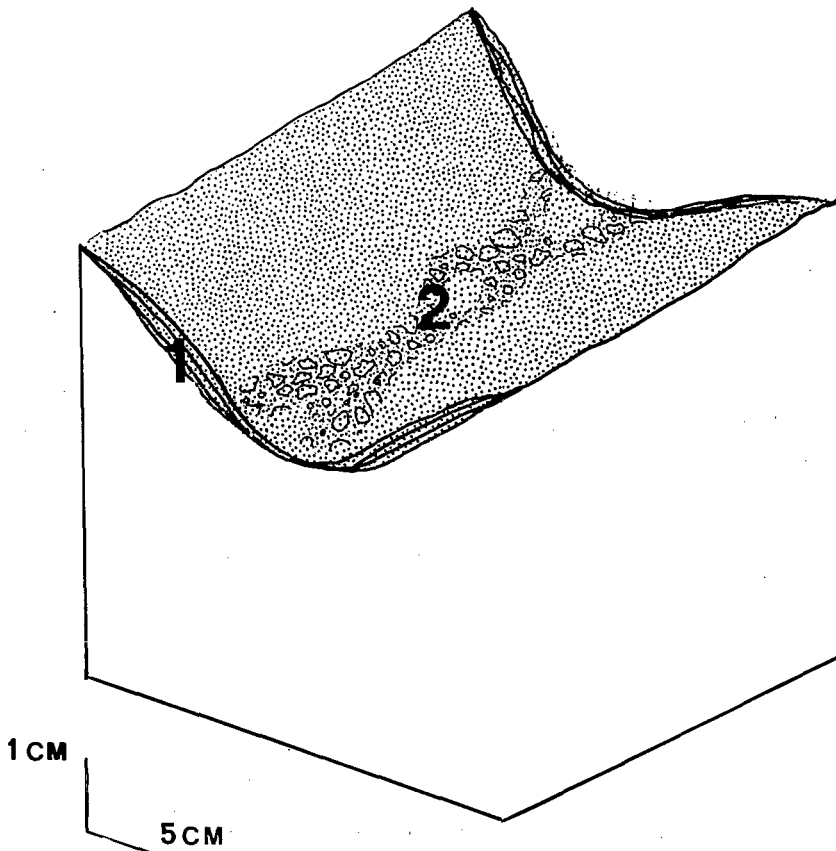


Fig. 2. Surface de type ruissellement. 1. Alternance pellicules plasmiques et microhorizons sableux; 2. Dépôts sableux discontinus au fond de l'axe de ruissellement.

Influence sur le ruissellement :

Moins d'obstacle au ruissellement, d'où un coefficient de ruissellement plus fort de l'ordre de 15 à 25 % pour l'ensemble de l'unité, lié à la concentration du ruissellement localisé dans les ravinaux.

C. Zone de la "bajada" supérieure (ou glacis). Pente de 2 à 6%.

Site d'écoulement hiérarchisé : ravines et ravinaux, d'où implantation de la végétation en bordure de ces "chemins d'eau".

Végétation :

Matorral de *Larrea tridentata* et *Fouquieria splendens* et plus en aval une formation végétale communément appelée *Nopalera* composée de *Opuntia rastrera*, *Opuntia microdasys* et *Agave asperrima* imbriquée dans le *matorral*. D'autres espèces importantes à dispersion aléatoire sont à citer : *Cordia parvifolia*, *Flourensia cernua*, *Jatropha dioica* et *Euphorbia antisiphilitica*. Couverture de 30 à 39,5%.

Trois types de surface dans ce milieu :

a) site de ruissellement : microhorizons sableux peu triés qui alternent avec de minces et fragiles pellicules plasmiques, concentrées le long des axes de ruissellement qui eux contiennent des éléments grossiers et des sables. Ces réorganisations superficielles correspondent à des croûtes de ruissellement. Occupation de la surface : 10%.

b) site sur sol nu, inter-végétation : microhorizon à recouvrement d'éléments grossiers discontinus, de faible diamètre, et sables libres sur pellicule plasmique : il s'agit d'une croûte structurale à 3 microhorizons (Fig. 3). Localement, l'on observe une pellicule plasmique peu épaisse correspondant à une croûte d'érosion (Fig. 4). Occupation de la surface : 60%.

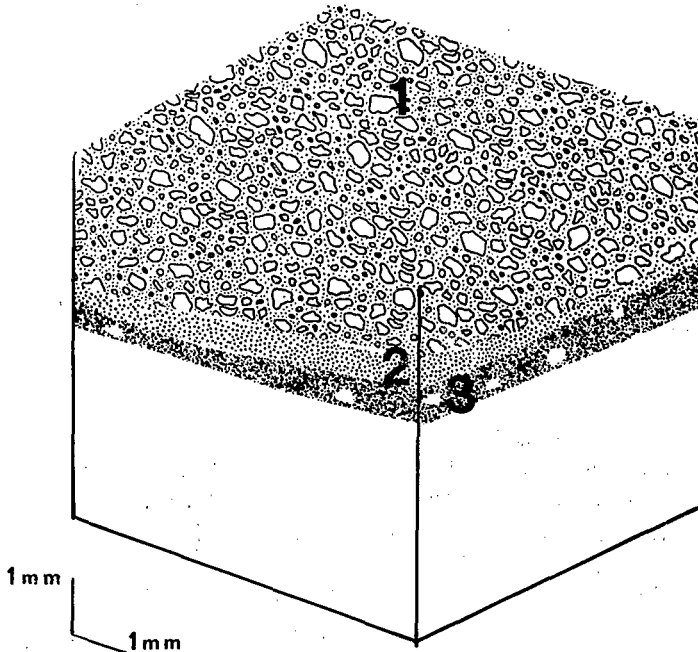


Fig. 3. Surface de type structurale 3. Pellicule structurale à trois microhorizons. 1. Sable grossier libre; 2. Sable fin pris en masse; 3. Pellicule plasmique à porosité vésiculaire.

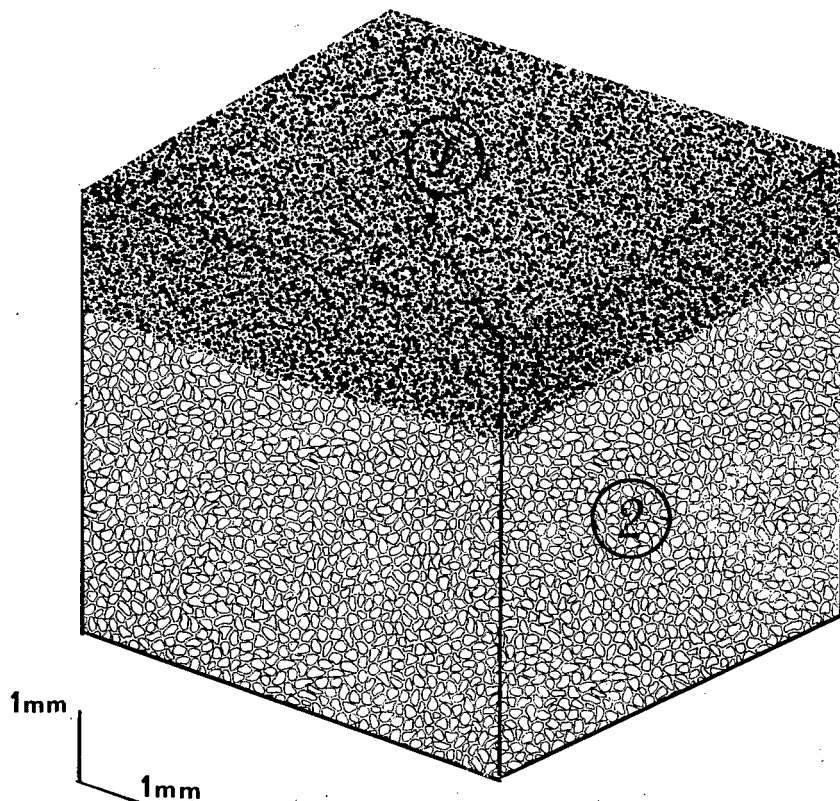


Fig. 4. Surface de type érosion 1. Pellicule d'érosion soudée à la matrice du sol 2.

c) site de végétation à implantation aléatoire : on y trouve une pellicule fine et rugueuse à porosité mésofaunique au pied des végétaux avec des apports sableux en amont de ceux-ci et un déchaussement plus ou moins prononcé en aval. Le type de surface est une croûte structurale à un microhorizon (Fig. 5). Occupation de la surface : 30%.

Genèse :

Les croûtes structurales à 3 microhorizons sont formées par un tri granulométrique et un lessivage vertical des éléments fins sous l'effet de la pluie. Les croûtes d'érosion sont l'évolution des croûtes structurales sous l'effet de l'érosion hydrique. Les sites sous végétation présentent une croûte à un microhorizon qui se forme dès les premières pluies sous l'effet *splach*. Une activité de la faune micromamallienne permet une infiltration préférentielle au pied des cactacées (*Nopal*).

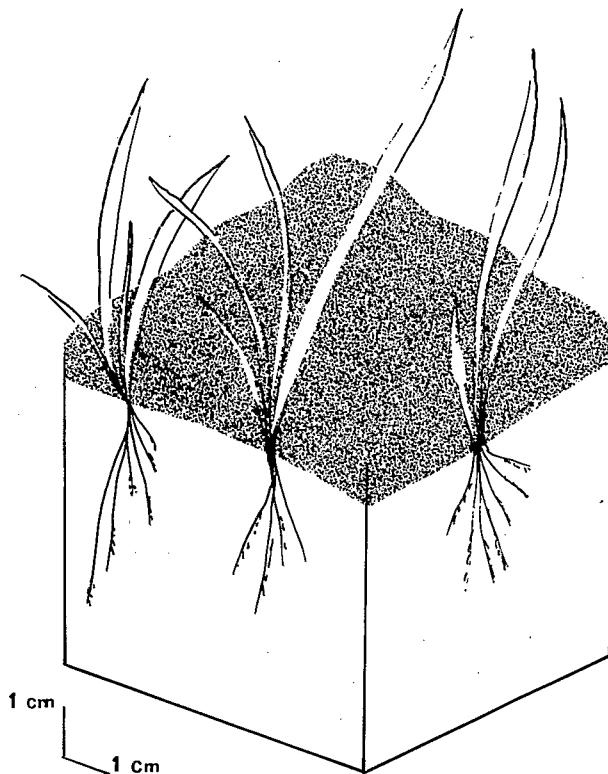


Fig. 5. Surface de type structurale 1. Pellicule structurale rugueuse.

Influence sur le ruissellement :

Coefficient plus élevé que dans le *cerro*. De 20 à 30% pour les sites nus, de 15 à 25 % pour les zones où la couverture de la végétation est plus importante. Les sites incisés où l'on trouve les croûtes de ruissellement n'ont pu être testés pour un problème d'ordre technique : incision plus importante que la hauteur de la parcelle expérimentale.

D. Zone de la "bajada" inférieure. Pente inférieure ou égale à 2%.

Il est important de noter que la végétation sur ce glacis, se dégrade d'amont en aval, en surface et en volume, sous l'influence de la sédentarisation relative du bétail à l'approche de la retenue d'eau.

Trois sites sont à retenir : à l'amont une formation complexe, le *Mogote* appelé aussi brousse tigrée en Afrique de l'ouest (Leprun, 1978), puis en aval une formation herbeuse d'*Hilaria* et enfin une succession de *Mogote* et de plages d'*Hilaria* dégradée.

1) Le *Mogote* présente une certaine régularité dans l'espace sous forme d'une succession ordonnée d'arcs, dans sa répétition et sa distribution. Il est composé pour la strate herbacée de *Hilaria mutica* et pour la strate arbustive de *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *Flourensia cernua* et *Lippia graveolens*. Couverture de 55 à 69,1 %.

L'axe principal du *Mogote* est perpendiculaire à la pente (Montaña, 1988; Delhoume, 1988) et son évolution se fait en amont des arcs par piégeage des graines dans les zones amonts à concentration de sables et limons sous l'effet du ruissellement bloqué par la végétation.

2) La formation herbeuse monospécifique d'*Hilaria* se présente en plages végétales discontinues et irrégulières.

Dans chacune de ces deux formations végétales, *Hilaria* est distribuée en touffes et présente un micro-relief particulier dont l'amplitude varie de 5 à 15 cm (hauteur de la touffe par rapport à la zone basse inter-touffe).

3) L'alternance *Mogote* et *Hilaria* qui est prédominante dans la partie basse de la *bajada* inférieure. Cette formation végétale présente sensiblement les mêmes espèces végétales mais dont les individus subissent une dégradation animale plus importante. On y observe une augmentation sensible des zones dénudées où l'on trouve des espèces telles que *Opuntia shottii*, *Agave asperrima*, *Larrea tridentata* et *Tridens pulchellus*. Couverture de 6 à 10%.

Pour les trois sites de cette zone, les surfaces sont les suivantes :

a) Deux types de surfaces pour le *Mogote* : la végétation au sein du *Mogote* présente une distribution homogène, d'où une surface sans croûte sous la végétation car il n'y a pas d'effet *splach* et l'activité faunique est plus importante, c'est une caractéristique commune des zones type *Mogote* ou brousse tigrée où alternent de la végétation et des zones dénudées (Elkins *et al.*, 1986, Valentin et Janeau, 1988). Cependant il existe au sein de ce même *Mogote* une autre surface élémentaire créée par le passage répété au même endroit des animaux qui induisent des ruissellements préférentiels par dégradation de la végétation et tassement du sol. C'est une croûte d'érosion que nous observons dans ces cheminements de bovins.

A l'amont du *Mogote* :

- Une zone de transit (inter arcs de *Mogote*) : recouvrement d'éléments grossiers discontinus, de faible diamètre, sables peu triés et pellicule plasmique. Croûte structurale à 3 microhorizons.

- Une zone pionnière à accumulation limoneuse dominante et sables : surface à superposition de microhorizons formés par l'alternance de limons

et de sables étroitement imbriqués et de pellicules plasmiques. C'est une croûte de décantation à plusieurs microhorizons et à tendance squameuse (Fig. 6 et 7).

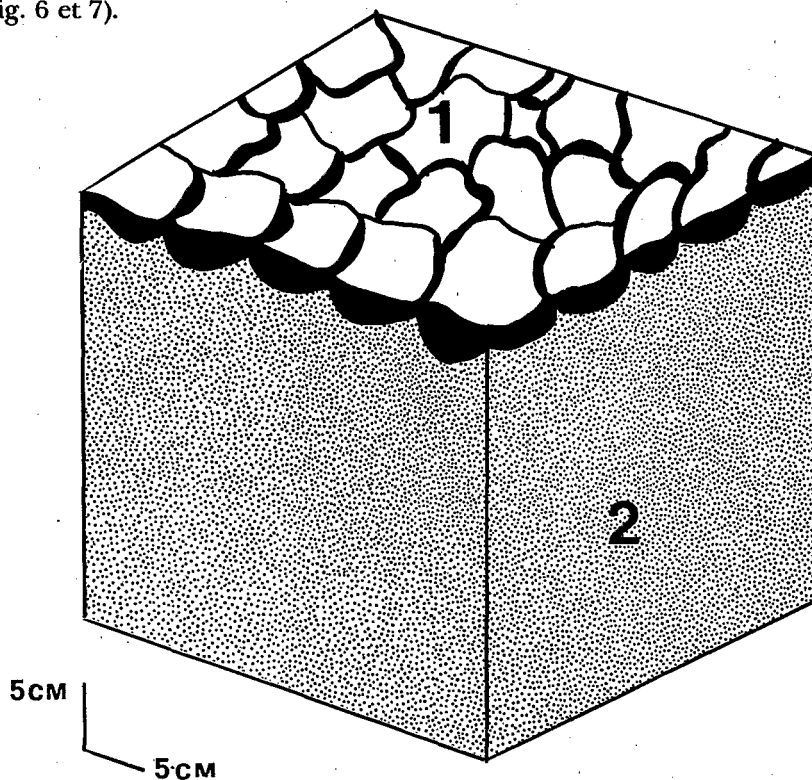


Fig. 6. Surface de type décantation. 1. Pellicule de décantation reposant sur la matrice du sol 2.

A l'aval :

Présence d'une forme d'érosion en marche d'escalier avec un décrochement de quelques centimètres dû au ruissellement lors des fortes pluies. Surface à 1 microhorizon avec reliques de dépôts sableux et limoneux, c'est une croûte d'érosion.

b) Quatre états de surface dont trois à croûte dans la formation monospécifique d'*Hilaria*.

- Sous les touffes, on trouve la matrice du sol grumeleuse (activité faunique), sans croûte.

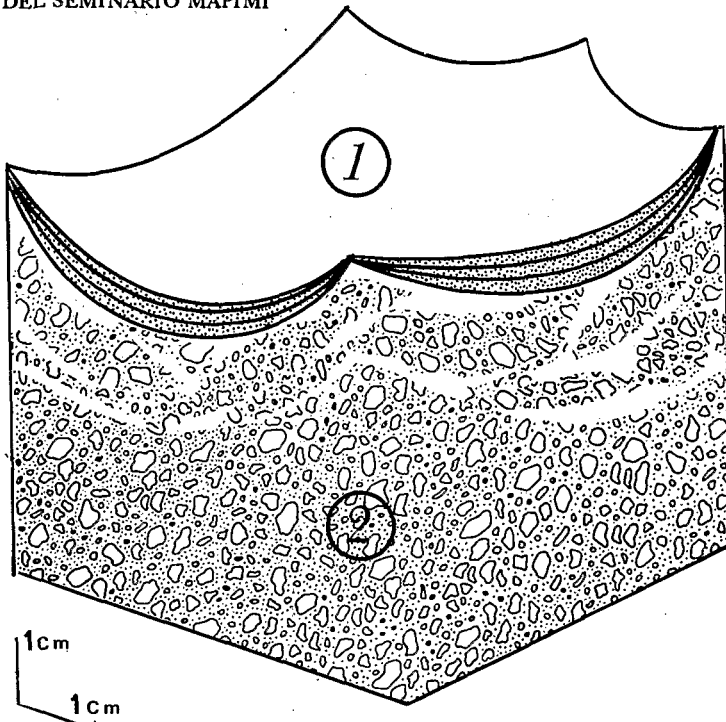


Fig. 7. Squame. 1. Pellicule de décantation reposant sur la matrice du sol 2.

- Le micro relief de ce système végétal en touffes présente sur les microversants de celles-ci des croûtes structurales à un ou deux microhorizons (Fig. 8).

- En inter touffe, croûte fine à recouvrement très discontinu de limons et sables pris en masse; cette pellicule plasmique dure est appelée croûte d'érosion. Mais principalement on y trouve, une croûte structurale à plusieurs microhorizons très soudés, à porosité fissurale liée à l'alternance humectation-dessiccation et à la texture du sol. C'est une croûte de décantation.

c) L'alternance *Mogote* et *Hilaria*.

Nous retrouvons les mêmes types de croûtes mais avec une proportion plus importante de surfaces dénudées, sites privilégiés des croûtes d'érosion à fort ruissellement (Casenave et Valentin, 1988).

Genèse des croûtes spécifiques à la *bajada* inférieure :

- Croûte structurale à 2 microhorizons : formée par un apport hydrique et une prise en masse des sables sous l'effet de la dessiccation.

- Croûte de décantation : elle résulte du dépôt des éléments fins transportés et déposés par les eaux de ruissellement.

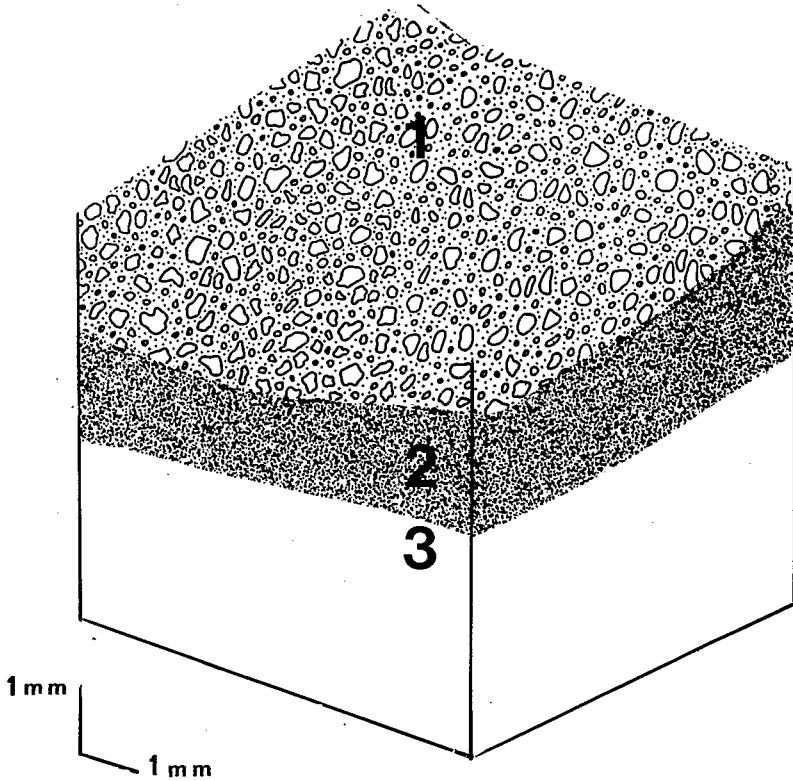


Fig. 8. Surface de type structurale 2. Pellicule structurale à 2 microhorizons. 1. Sable grossier continu; 2. Pellicule plasmique soudée à la matrice du sol 3.

Influence sur le ruissellement :

a) la couverture végétale du *Mogote* est comprise entre 10 et 20 % de l'unité totale de la *bajada* inférieure, mais son importance est primordiale au niveau du ruissellement dans le paysage car la quasi-totalité du ruissellement est piégé par ces arcs de végétation.

Le ruissellement parvenant à un autre arc de *Mogote* provient de la zone nue inter-arc amont couverte par des croûtes d'érosion. Ces croûtes sont les plus propices au ruissellement puis en ordre décroissant les croûtes structurales de 3 à 1 microhorizon.

Une exception, cependant, en cas de forte pluie supérieure à 30 mm et d'intensité au moins égale à 60 mm/h, un ruissellement en nappe et hiérarchisé sur les passages des bovins, traverse de part en part le *Mogote*.

b) dans les zones à *Hilaria* mentionnées, on observe 30 à 40 % d'occupation de la surface de cette unité par les touffes d'*Hilaria*.

Le ruissellement est conditionné par le micro-relief, ainsi en inter-touffe

le ruissellement est maximal. Cependant lors des fortes pluies, le ruissellement en nappe croît en hauteur et atteint les zones de versant, voir le sommet de la touffe où l'infiltration est alors très importante. Ce micro-relief et le peu de pente de cette unité, induisent un stockage temporaire de l'eau en surface et les croûtes de décantation qui en résultent prouvent une suralimentation hydrique de la formation herbeuse d'*Hilaria*.

c) c'est la zone d'alternance *Mogote* et *Hilaria* dégradée qui conditionne le remplissage du *preson*. La prédominance de zones dénudées à recouvrement de croûtes d'érosion induisent un fort ruissellement (40 à 50 %).

E. Zone amont du "preson" : dépression de la "bajada" inférieure proche de la "playa". Pente insignifiante, inférieure à 1%.

Végétation :

Variation annuelle du taux de couverture liée à celle de la retenue. Ce sont des herbacées non appétantes pour le bétail. On trouve *Solanum eleagnifolium*, *Xanthium strumarium*, *Florestina tripteris*, *Helenium autumnale*, *Hoffmanseggia densiflora*, *Heliotropium curassavicum* var. *curassavicum* et *Flaveria trinervia*.

Surfaces :

Ruissellement en nappe : croûte de décantation délimitant des squames ou des polyèdres au niveau de la proche bordure et du fond du *preson*, à l'état sec. Plus en amont, croûte structurale à plasma dominant (un seul microhorizon), sous la végétation. La formation de ces croûtes a été précisée plus haut.

Influence sur le ruissellement :

Ruissellement en nappe dû à la faible pente et stagnation des apports d'eau au *preson*. L'arrêt des eaux de ruissellement est effectué par le barrage artificiel dont le volume d'eau stocké est extrêmement variable. Il varie, en fonction de l'irrégularité des apports pluviométriques et de l'évaporation importante (10 mm/jour), très caractéristiques de cette zone aride du nord Mexique (Cornet, 1988).

Conclusion

La distribution des états de surface est ordonnée en fonction des différentes unités de milieu, elles-mêmes distribuées topographiquement. Depuis le haut de versant, nous passons progressivement d'une

infiltration forte à un ruissellement hiérarchisé de type ravines, ravinaux et griffes d'érosion, puis localement à un écoulement ralenti sous forte pluie ou stoppé par les arcs de végétation du *Mogote* et enfin à un ruissellement en nappe dont les sites privilégiés sont les zones nues à dispersion aléatoire inter-végétation (annexe 1).

Perspectives

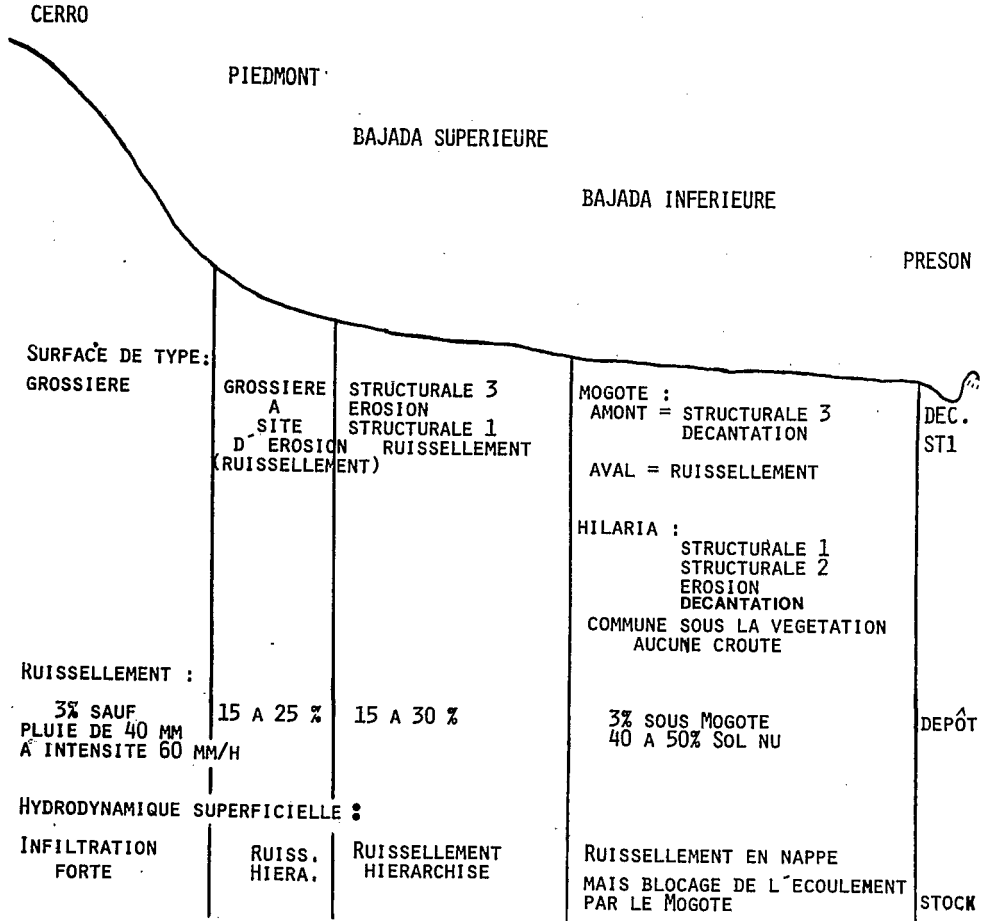
Nous envisageons une étude fine des états de surface à l'échelle du bassin versant. Aux sites expérimentaux déjà testés, pourront s'ajouter un site dans la zone amont du pourtour du *preson* et d'autres sites en prolongement de cette toposéquence, jusqu'à la zone la plus basse ou *playa* et à l'incision du rio. Ainsi sera complétée l'étude de l'hydrodynamique superficielle pour le bassin versant. Ce type d'hydrodynamique étant prédominant dans la réserve de Mapimi.

Ultérieurement nous étendrons cette cartographie et des mesures sous simulation de pluie (simulateur de pluie Asseline et Valentin, 1978), à d'autres bassins représentatifs de la réserve de Mapimi situés sur versant dont la géomorphologie et la structure géologique présente des pendages inverses à ceux du versant étudié, dont l'effet sur le ruissellement en zone de *bajada* supérieure et inférieure peuvent déterminer l'implantation de nouveaux *presones*.

Bibliographie

- Asseline, J., Valentin, C. 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, XV (4): 321-349.
- Casenave, A., Valentin, C. 1988. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, 242 pp.
- Cornet, A. 1988. Principales caractéristiques climatiques, *In* : C. Montaña (Ed.). Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí, Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 45-76.
- Delhoume, J.P. 1988. Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative. *In*: C. Montaña (Ed.). Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí, Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 135-165.
- Delhoume, J.P. *et al.*, à paraître. Ruissellement et érosion en zone aride du Nord du Mexique. Réserve de la biosphère de Mapimi.

- Elkins, N.Z., Sabol, G.V., Wardt, T.J. et Whitford, W.G.** 1986. The influence of subterranean termites on the hydrological characteristics of a Chihuahuan desert ecosystem. *Oecologia* (Berlin), 68: 521-528.
- Leprun, J.C.** 1978. Compte-rendu de fin d'études sur les sols et leur susceptibilité à l'érosion, les terres de cures salées, les formations de "brousse tigrée" dans le Gourma (Mali). ORSTOM/DGRST, Paris, multigr., 45 p.
- Montaña, C., Breimer, R.F.** 1988. Major vegetation and environment units. In: C. Montaña (Ed.). Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 99-114.
- Ruiz de Esparza Villarreal, R.** 1986. Inventario de los recursos florísticos de la reserva de la Biosfera de Mapimí. Tesis profesional. 144 pp.
- Valentin, C.** 1988. Encroûtement superficiel, ruissellement et érosion des terrains à forte pente et à charge grossière. Training workshop on site selection, characterization and establishment of experiments for soil management networks. Chiangmaï, Thaïlande.
- Valentin, C., Janeau, J.L.** 1988. Cartographie des états de surface de trois bassins versants du Mali : Tin Adjar, Koumbaka et Dounfing. ORSTOM Abidjan. Côte d'Ivoire. 12 p.



FONCTIONNEMENT ET DYNAMIQUE DE DEUX ECOSYSTEMES CARACTERISTIQUES

Jean Pierre Delhoume

Resumen

Trabajos experimentales realizados durante cuatro años en dos ecosistemas de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y característicos de la zona árida del norte de México, nos permitieron estudiar el funcionamiento hidrodinámico de esos dos medios.

La región se caracteriza climáticamente por su débil pluviometría (250 a 300 mm/año en promedio) con una fuerte variabilidad interanual y por la repartición esencialmente veraniega de esas lluvias, época de fuerte insolación.

La primera estación está situada en una formación herbácea constituida esencialmente por una sola gramínea perenne que se desarrolla en un suelo muy arcilloso presentando características vérticas. A la aridez climática añadase una aridez edáfica debida a las propiedades físicas del suelo, esto último no pudiendo almacenar más que una parte del agua meteórica que recibe. La vegetación se adapta a esta insuficiencia hídrica distribuyendose espacialmente de manera contracta a la escala métrica, bajo forma de matas aisladas alternando con zonas desnudas.

La segunda estación está localizada en una formación vegetal arbustiva constituida por una alternancia regular a escala multidecamétrica de bandas de vegetación densa y de zonas desnudas entre esas bandas. La parte superior del suelo de estas últimas presenta una película o costra de porosidad muy débil que se opone a la infiltración de agua en el suelo y que favorece sobre todo a un escurrimiento superficial importante, el cual, dada la topografía, está atrapado en la banda vegetal adyacente. Esta es aprovisionada así de dos maneras diferentes: las precipitaciones incidentes y el agua de escurrimiento superficial. La aportación total en agua a las bandas de vegetación alcanza así más del doble de la pluviometría anual, lo que explica la densidad y la diversidad de esas bandas vegetales. Allí también se trata de una adaptación de la vegetación en condiciones particulares de alimentación en agua.

Résumé

Des travaux expérimentaux réalisés durant quatre années dans deux milieux de la Réserve de la Biosphère de Mapimí et caractéristiques de la zone aride du nord-Mexique, nous ont permis d'étudier le fonctionnement hydrodynamique de ces deux milieux.

La région se caractérise climatiquement par sa faible pluviométrie (250 à 300 mm/an en moyenne) avec une forte variabilité interannuelle et par la répartition essentiellement estivale de ces pluies, époque de forte insolation.

La première station est située dans une formation herbacée constituée essentiellement par une seule graminée pérenne se développant sur un sol très argileux présentant des caractères vertiques. A l'aridité climatique se surimpose une aridité édaphique due aux propriétés physiques du sol; ce dernier ne pouvant emmagasiner qu'une fraction de l'eau météorique qu'il reçoit. La végétation s'adapte à cette insuffisance hydrique en se distribuant spatialement de manière contractée à l'échelle métrique, sous forme de touffes isolées alternant avec des zones dénudées.

La seconde station est localisée dans une formation végétale arbustive constituée par une alternance régulière à l'échelle multidécamétrique de bandes de végétation dense et de zones dénudées entre ces bandes. La partie supérieure du sol de ces dernières présente une pellicule ou croûte à très faible porosité qui s'oppose à l'infiltration de l'eau dans le sol et qui favorise surtout un ruissellement superficiel important, lequel, par suite de la topographie, est piégé par la bande végétale adjacente. Celle-ci est approvisionnée ainsi de deux manières différentes : les précipitations incidentes et l'eau de ruissellement superficiel. L'apport total en eau aux bandes de végétation atteint ainsi plus du double de la pluviométrie annuelle, ce qui explique la densité et la diversité de ces bandes végétales. Il s'agit là aussi d'une adaptation de la végétation à des conditions particulières d'alimentation en eau.

Introduction

Dans la zone aride du nord du Mexique, la distribution spatiale de la couverture végétale est le plus souvent discontinue ou contractée, c'est-à-dire que les zones de végétation alternent avec des zones de sol nu. Il est possible de différencier deux échelles de discontinuité :

- une discontinuité à l'échelle multimétrique : elle est constituée par l'alternance de plages végétales de plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres carrés avec des zones de sol nu de taille semblable. A l'intérieur de ces plages de végétation, on rencontre la seconde échelle de discontinuité définie ci-après.

- une discontinuité à l'échelle métrique ou élémentaire, qui s'observe sur une surface réduite, de l'ordre du mètre carré : elle est constituée par l'alternance de la touffe végétale ou de l'arbuste avec le sol dénudé. L'ensemble touffe et espace inter-touffe adjacent forme le module de base de ce système.

Les plages végétales ont deux modes de distribution spatiale avec des formes variées (Fig. 1) :

- un mode de distribution de type aléatoire : la végétation se présente sous forme de plages de formes très variées sans qu'il soit possible de déterminer, spatialement, un ordre quelconque.

- un mode de distribution de type ordonné : les plages végétales ont une forme semblable, en général des bandes, présentant une répétitivité dans leur distribution spatiale.

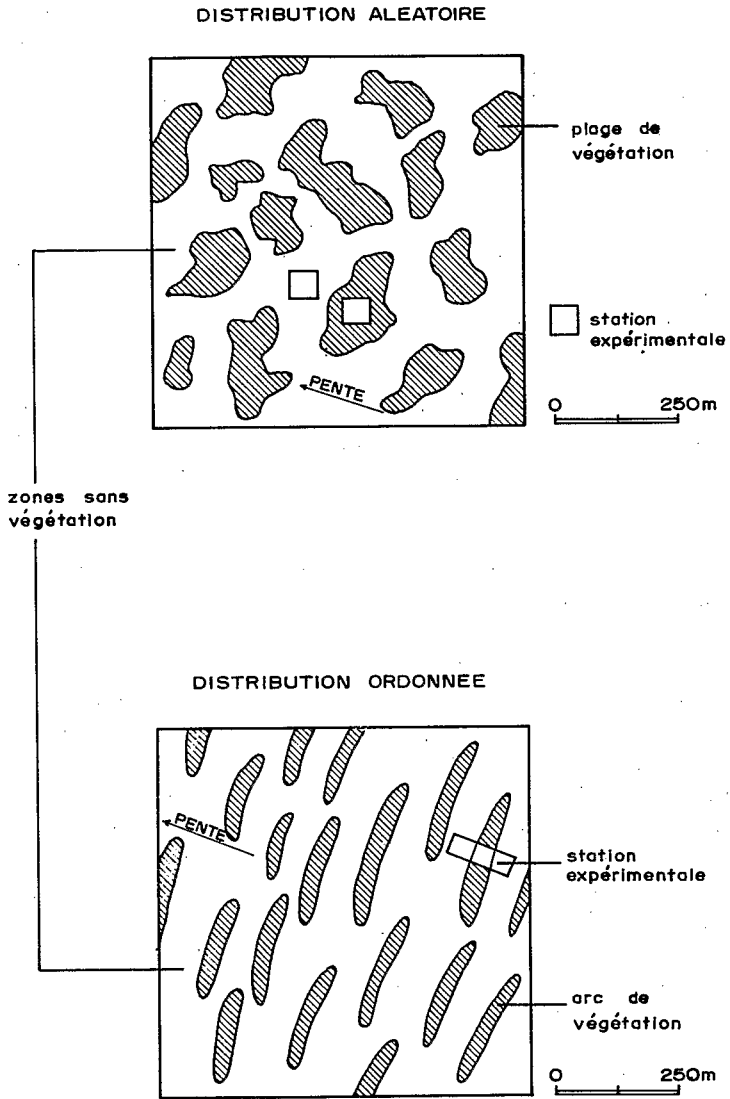


Fig. 1. Schéma de la distribution spatiale discontinue, irrégulière ou régulière, de la végétation.

Nous avons choisi pour chacun de ces deux modes de distribution une formation végétale à la fois importante pour son intérêt fourrager mais aussi caractéristique de la zone aride nord-mexicaine. Dans le cas du mode de distribution de type aléatoire, il s'agit d'une formation végétale herbacée monospécifique et pour le mode de distribution de type ordonné, il s'agit d'une formation végétale herbacée et arbustive complexe. Ces deux formations, par leur caractéristiques et leur situation dans le paysage, constituent deux écosystèmes bien définis.

Différentes stations expérimentales ont été mises en place dans ces milieux et, à partir des résultats obtenus durant quatre années de mesures, nous pouvons caractériser le fonctionnement et la dynamique de ces deux formations végétales.

Cas d'une formation végétale herbacée monospécifique à distribution spatiale de type aléatoire

Caractéristiques de la station d'étude

La station expérimentale (50m x 70m) est localisée géomorphologiquement en *bajada* inférieure où la pente est très faible (0,5%).

La végétation est constituée par une formation herbacée quasi-monospécifique de *Hilaria mutica*, graminée pérenne (type C4) qui constitue plus de 90% du couvert végétal, le reste étant formé par quelques cactacées du genre *Opuntia* et quelques arbustes dont *Prosopis glandulosa* est l'espèce la plus fréquente. Cette formation végétale se distribue spatialement selon le type aléatoire défini ci-dessus. A l'intérieur d'une plage végétale, le taux total de recouvrement de la végétation est de 40% et celle-ci se distribue spatialement de manière contractée à l'échelle métrique : il y a alternance de touffes végétales de *Hilaria*, ayant de 20 à 60 cm. de diamètre et en relief de 5 à 10 cm. par rapport aux zones dénudées adjacentes qui se trouvent ainsi en dépression par rapport aux touffes.

L'étude morphologique et analytique de plusieurs profils de sols répartis sur l'ensemble de la station montre que la couverture pédologique est continue et homogène au niveau macroscopique et nous la caractérisons par le profil morphologique type suivant :

0 à 6 cm = horizon présent sous les touffes de végétation, structure polyédrique fine, poreux, fragile, présence de racines.

6 à 60 cm = horizon à structure polyédrique moyenne, très peu poreux, très peu fragile, racines.

60 à 80 cm = horizon de transition, structure polyédrique fine, très peu poreux, peu fragile, redistribution secondaire de gypse sous forme discontinue en taches et amas.

plus de 80 cm = roche-mère de type marne altérée physiquement et se débitant en plaquettes.

Les caractéristiques analytiques (tableau 1) indiquent une texture fine dès la surface, et l'étude minéralogique montre que ce sont les smectites qui prédominent. Celles-ci donnent au sol des propriétés d'expansion avec l'humidité et de rétraction avec la dessiccation, comme cela a pu être mis en évidence par l'étude de la variation de la masse volumique du sol en fonction de son degré d'humectation. Les caractères vertiques, tels que fentes de retrait et faces de glissement, restent cependant peu accentués dans ces sols.

La teneur en matière organique est faible et la conductivité électrique, négligeable en surface, devient notable en profondeur : il s'agit d'une salinité d'origine lithologique provenant de la roche-mère. C'est dans ce dernier matériau et dans l'horizon argileux que la porosité est la plus faible.

L'accumulation secondaire de gypse à moyenne profondeur est un caractère hérité d'une pédogénèse ancienne, car comme nous le verrons, l'hydrodynamique actuelle ne permet que très rarement une infiltration de l'eau dans le sol au-delà de 50 cm de profondeur.

Selon la classification FAO/UNESCO (1976), ce sol est un Yermosol gypseux, sur matériau fin d'apport, reposant à moyenne profondeur sur un matériau marneux autochtone.

Méthodologie

L'étude de la variabilité spatiale du stock hydrique du sol réalisée pour cette station et dont les résultats sont présentés dans ce même ouvrage, montre que la variabilité à prendre en compte au niveau élémentaire est celle du module de base du milieu étudié, constitué par la touffe végétale et l'espace dénudé adjacent (Fig. 2). Un site de mesures de l'humidité du sol, localisé dans chacune de ces deux composantes du module est suffisant pour caractériser le fonctionnement hydrodynamique du sol au niveau des plages végétales. Pour compléter le dispositif, il est indispensable d'ajouter un site de mesures dans les plages de sol nu qui alternent de manière

TABLEAU 1
 CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DU SOL DE LA STATION *HILARIA MUTICA*

Profond. (cm)	Texture (0 - 2 mm) (%)					CE (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	Gypse (%)	pH eau
	A	LF	LG	SF	SG				
0-6	25,9	24,9	6,3	32,1	7,1	1,8	17,2	6,4	8,3
10-18	48,2	16,5	4,6	22,5	3,9	0,7	21,6	8,3	8,3
28-36	48,7	15,5	4,4	22,2	5,1	2,0	21,4	8,5	8,4
45-55	51,8	15,0	4,2	20,1	4,6	4,2	20,9	8,8	8,4
65-75	42,5	26,3	8,5	14,4	2,5	11,9	20,3	16,9	8,2
95-105	24,3	51,8	10,8	9,7	0,5	12,9	20,9	7,4	8,4

A = argile - 0 à 0,002 mm

LF = limon fin - 0,002 à 0,020 mm

LG = limon grossier - 0,020 à 0,050 mm

SF = sable fin - 0,050 à 0,200 mm

SG = sable grossier - 0,200 à 2 mm

CE = conductivité électrique

CaCO₃ = carbonate de calcium

Gypse = sulfate de calcium

Profond. (cm)	M.O. (%)		
	G	N	C/N
0 - 6	8,16	1,36	6,0
10 - 18	4,28	0,63	6,8
28 - 36	3,59	0,52	6,9
45 - 55	3,00	0,50	6,0

M.O. = matière organique

C = carbone organique

N = azote total

Prof. (cm)	Da	Dr	Por. (%)
10	1,44	2,60	44,6
20	1,57	2,61	39,8
30	1,63	2,63	38,0
40	1,64	2,66	38,3
50	1,56	2,64	40,9
60	1,48	2,63	43,7
70	1,47	2,58	43,0
80	1,56	2,57	39,3
90	1,60	2,65	39,6
100	1,67	2,66	37,2

Da = densité apparente (g/cm³)

Dr = densité réelle (g/cm³)

Por. = porosité

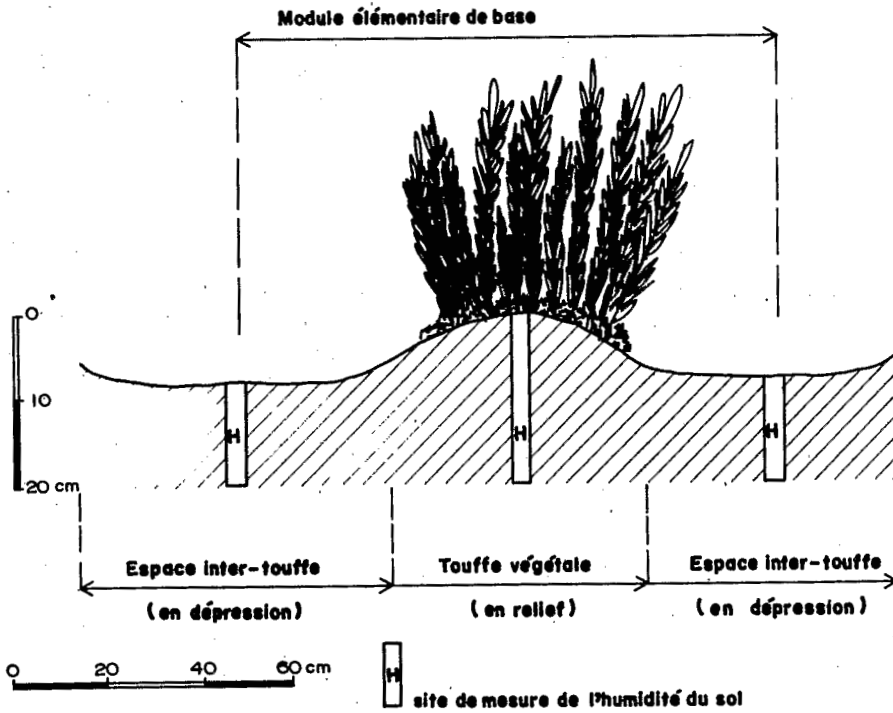


Fig. 2. Schéma du module de base de la formation végétale à distribution spatiale aléatoire.

irrégulière avec les plages végétales.

Ce sont trois sites de mesures qui vont donc nous permettre d'étudier l'hydrodynamique : le site touffe végétale de *Hilaria mutica* et le site inter-touffe adjacent, et le site sol nu correspondant aux plages sans végétation.

Pour chacun de ces sites, l'humidité du sol a été mesurée à l'aide d'un humidimètre à neutrons avec une périodicité régulière et en fonction des événements pluviométriques, pendant quatre années. Parmi les résultats ainsi obtenus, nous avons sélectionné deux épisodes pluvieux qui nous permettent de caractériser de manière exhaustive le fonctionnement hydrodynamique au niveau de cet écosystème.

Fonctionnement hydrodynamique du milieu

Pour les deux événements pluvieux choisis, nous avons calculé la quantité d'eau existante dans le sol, avant la pluie et immédiatement après celle-ci, à partir d'humidités mesurées dans le sol. De la sorte, nous pouvons déterminer exactement le stock d'eau emmagasiné par le sol au cours de l'événement pluviométrique. Les deux pluies considérées, respectivement de 29,7 et 44,7 mm. de hauteur, sont importantes pour la zone d'étude et se produisent généralement 1 ou 2 fois seulement en cours d'année.

Pour chacune de ces deux pluies, nous constatons (Fig. 3 et tableau 2) qu'il y a un stockage différentiel de l'eau dans le sol selon le site de mesures, qui concerne à la fois la quantité d'eau accumulée dans le sol et la profondeur humectée.

L'eau s'est infiltrée plus profondément pour le site touffe végétale que pour les deux autres sites, en particulier pour la pluie de 44,7 mm. Cette différence de comportement est à mettre en relation avec une plus forte porosité et une meilleure structure du sol situé sous la végétation, par suite d'une activité biologique notable, d'une teneur en matière organique plus élevée et de la présence de nombreuses racines, caractéristiques qui ne sont pas aussi favorables pour les sites inter-touffe et sol nu.

La quantité d'eau emmagasinée par le sol décroît très nettement lorsque la distance du site de mesures par rapport à la végétation augmente. Ainsi, pour le site touffe végétale, il y a excès d'eau par rapport à la hauteur de pluie qui atteint pratiquement le double de celle-ci. Dans ce cas, il y a apport hydrique complémentaire. Le site inter-touffe végétale, au contraire, ne stocke qu'une fraction de la hauteur d'eau précipitée, soit 80% environ,

tandis que le site sol nu, en n'emmagasinant que le tiers environ de la pluie, présente un déficit important par rapport à cette dernière.

Ce stockage différentiel de l'eau dans la couverture pédologique au niveau de cette station s'explique par l'état de surface du sol qui joue un rôle important. En effet, dans les zones de sol nu, la partie superficielle du

TABLEAU 2
BILAN HYDRIQUE DU SOL PAR TRANCHES POUR LES TROIS SITES
CARACTERISTIQUES DE LA STATION *HILARIA MUTICA* POUR DEUX PLUIES
DISTINCTES

Site	Tranches de sol (cm)	Pluie de 29,7 mm			Pluie de 44,7 mm		
		Av.	Ap.	Acc.	Av.	Ap.	Acc.
104	0-20	27,6	54,0	26,4	22,8	72,5	49,7
	20-40	36,8	65,0	28,2	34,5	72,6	38,1
	40-60	37,2	40,5	3,3	42,6	52,6	10,0
	60-80	33,0	33,0	0	31,8	33,4	1,6
	total			57,9			99,4
	bilan	excès 95 %			excès 122 %		
103	0-20	14,0	35,7	21,7	18,1	48,9	30,8
	20-40	27,3	28,8	1,5	34,2	39,5	5,3
	40-60	34,8	34,8	0	37,7	37,7	0
	total			23,2			36,1
	bilan	déficit 22 %			déficit 19 %		
105	0-20	9,4	17,8	8,4	18,4	31,7	13,3
	20-40	16,7	18,7	2,0	24,3	27,2	2,9
	40-60	25,0	25,0	0	26,4	26,4	0
	total			10,4			16,2
	bilan	déficit 65 %			déficit 64 %		

Av. = stock d'eau avant la pluie pour la tranche de sol considérée.

Ap. = stock d'eau après la pluie pour la tranche de sol considérée.

Acc. = stock d'eau accumulée durant la pluie (différence entre les deux valeurs précédentes)

$$\text{Bilan} = \frac{\text{stock total d'eau accumulée} - \text{hauteur de pluie}}{\text{hauteur de pluie}} \times 100$$

site 104 = touffe végétale.

site 103 = espace inter-touffe végétale.

site 105 = sol nu.

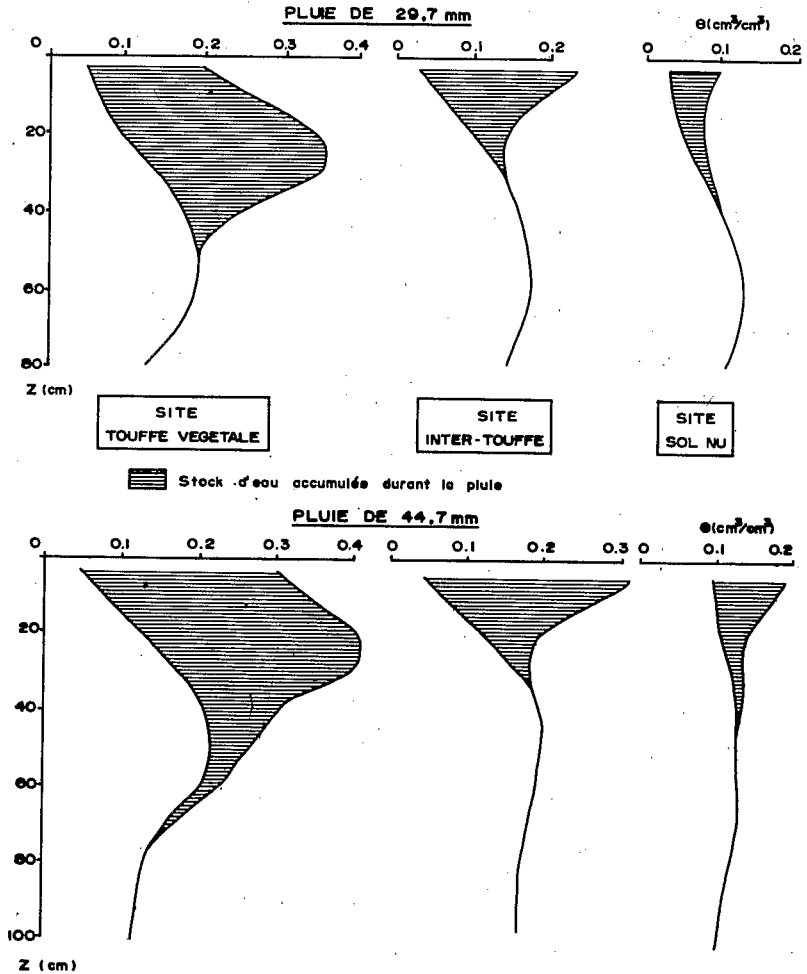


Fig. 3. Profils hydriques, avant et après la pluie, et stockage de l'eau dans le sol pour les trois sites caractéristiques de la station *Hilaria mutica*, pour deux pluies distinctes.

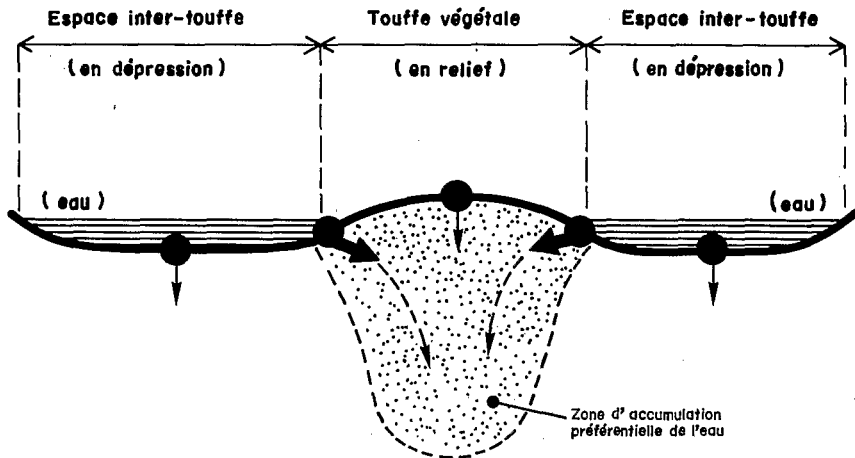
sol se présente sous forme d'une pellicule continue, véritable croûte quasi imperméable, qui constitue un milieu beaucoup plus favorable au ruissellement superficiel qu'à l'infiltration, malgré une pente très faible (0,6%). De plus, ces zones sans végétation ont une topographie plane sans aucune rugosité de surface qui pourrait arrêter les flux hydriques. Il en résulte que dans ces zones de sol nu, les eaux, dont la tendance préférentielle est le ruissellement, s'écoulent selon la pente jusqu'à ce qu'elles rencontrent un obstacle. Celui-ci est constitué par les plages de végétation adjacentes aux zones de sol nu (Fig. 1).

Les plages végétales, en jouant le rôle de piège pour ces eaux de ruissellement superficiel, reçoivent ainsi un apport d'eau complémentaire, mais qui se redistribue différenciellement dans ces plages de végétation.

Ces dernières présentent en effet un micro-relief constitué par l'alternance de zones en relief correspondant aux touffes végétales et de zones en dépression correspondant aux espaces inter-touffes, lesquels sont de véritables micro-bassins endoréiques. Durant un événement pluvieux, l'infiltration dans ces dépressions est très réduite car le sol présente là aussi une pellicule de surface s'opposant à une infiltration rapide. Mais, s'agissant de dépressions fermées, l'eau est obligée de stagner sur place, ce qui produit une évaporation directe importante, d'autant plus que les pluies se produisent essentiellement durant l'été, période de plus forte insolation. Cependant, une fraction de cette eau piégée parvient malgré tout à s'infiltrer dans le sol, mais très lentement, sous forme d'une infiltration forcée.

Au contraire, le site touffe végétale constitue un milieu très favorable à l'infiltration par suite des propriétés physiques favorables du sol à ce niveau, comme nous l'avons mentionné ci-dessus. Ainsi, en plus de l'eau météorique reçue directement par les touffes, une partie de l'eau libre qui stagne dans les dépressions inter-touffes, se vidange obliquement vers les sites de végétation, contribuant à la constitution d'un stock hydrique beaucoup plus important sous les touffes végétales que dans les espaces dénudés inter-touffes (Fig. 3bis).

Une fois la réserve hydrique reconstituée, essentiellement dans la partie supérieure du sol, la consommation d'eau est très rapide, que ce soit par évaporation directe comme pour les sites inter-touffes et sol nu, ou par évapotranspiration comme pour le site touffe végétale : en moyenne, 8 à 15 jours sont suffisants pour épuiser la majeure partie de l'eau disponible et pour retrouver des profils hydriques semblables aux profils antérieurs à la



Après une pluie, accumulation d'eau dans les dépressions, provenant par ruissellement des zones sans végétation. L'infiltration dans le sol se fait ensuite de manière différentielle :

- dans les dépressions, infiltration réduite par suite de la présence d'une croûte de surface très peu perméable.
- au niveau de la touffe végétale et surtout à la base de celle-ci, forte infiltration, par suite de propriétés physiques du sol favorables.

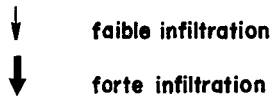


Fig. 3 bis. Schéma du fonctionnement hydrodynamique au niveau du module élémentaire de base de la formation végétale à distribution spatiale aléatoire.

pluie. Comme les événements pluvieux suffisamment importants pour reconstituer le stock hydrique du sol n'ont pas cette fréquence, la notion de saison des pluies est peu significative dans un tel milieu et il est préférable de parler de cycles humectation - dessiccation durant la période de plus forte probabilité de pluies.

L'espèce *Hilaria mutica* montre une double adaptation à cette hydrodynamique et aux conditions imposées par le sol :

- d'une part, une très forte proportion de racines est localisée dans la partie supérieure du sol (A. Cornet, communication personnelle) : 92% de la biomasse racinaire est en effet concentrée de 0 à 40 cm. de profondeur (Fig. 4). C'est essentiellement dans cette tranche de sol que les racines trouveront l'eau disponible pour s'approvisionner.

- d'autre part, la croissance de cette espèce est très rapide et débute dès que la recharge hydrique est reconstituée, ce qui épuise rapidement la réserve en eau. Tout se passe comme si la plante "savait" qu'elle doit utiliser rapidement l'eau disponible, sinon c'est l'évaporation qui va le faire : il s'agit d'une véritable compétition dans la consommation de l'eau du sol entre la plante et la forte demande évaporative du milieu. Une fois la réserve hydrique épuisée, la plante entre à nouveau en vie ralentie, jusqu'au prochain événement pluvieux. Ainsi, aux cycles humectation - dessiccation du sol, se surimposent, avec un décalage dans le temps, des cycles croissance - non croissance de la végétation.

La distribution spatiale, sous forme contractée, peut-être ainsi considérée comme une parade "inventée" par la végétation pour survivre dans un tel milieu climatique. Cette forme d'adaptation est efficace puisque la couverture végétale vit, durant l'année, avec une quantité d'eau totale bien supérieure à la hauteur de pluie annuelle, caractéristique qui va être encore plus accentuée dans le second exemple ci-dessous.

Cas d'une formation végétale complexe à distribution spatiale de type ordonné

Caractéristiques de la station d'étude

La station expérimentale (250 m x 80 m) est localisée géomorphologiquement en *bajada* inférieure où la pente est de 0,6 %.

La végétation correspond à une formation complexe, du type "brousse-tigrée" ou *vegetation-arc*, appelée localement *mogote* et se présente sous forme

d'une alternance de bandes ou arcs de végétation et de zones de sol nu, l'ensemble, à la différence de l'unité précédente, obéissant à une répétitivité et à une régularité dans l'espace correspondant au mode de distribution spatiale de type ordonné (Fig. 1).

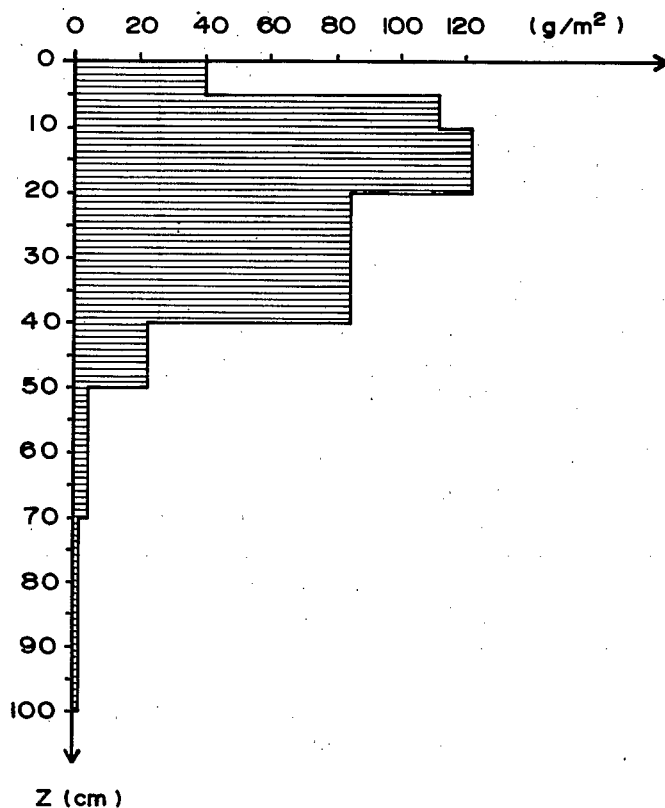


Fig. 4. Distribution de la biomasse racinaire (en g/m²) en fonction de la profondeur dans le sol de la station *Hilaria mutica* (D'après A. Cornet, communication personnelle).

Les bandes végétales ont 20 à 60 mètres de largeur sur 150 à 300 mètres de longueur, et leur grand axe est toujours orienté perpendiculairement à la pente. Les zones de sol nu occupent les espaces entre ces bandes, avec une largeur variable de 50 à 200 mètres, indépendante et sans relation avec celle des bandes de végétation (Cornet *et al.*, 1987; Delhoume, 1988).

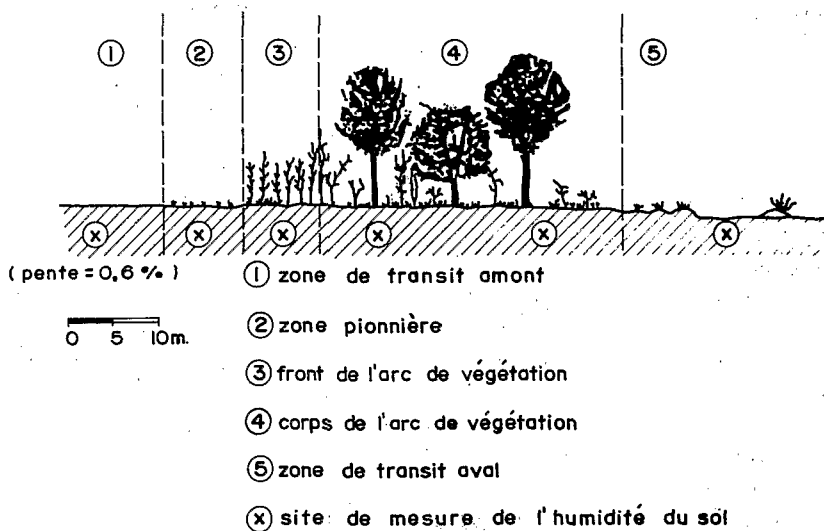


Fig. 5. Coupe transversale, amont-aval, d'un arc de végétation (d'après Cornet *et al.*, 1987).

D'amont en aval et perpendiculairement à la pente, on observe la succession suivante des différentes unités constituant cette formation végétale (Fig. 5) :

1. L'espace inter-arc amont, formé de deux zones :

- une zone de transit, sans aucune végétation, où la surface du sol est constituée par une pellicule superficielle ou croûte quasi imperméable, recouverte par de très nombreux graviers : une telle organisation constitue un milieu très favorable au ruissellement.

- une zone pionnière qui succède vers l'aval à la zone de transit ci-dessus. Les deux centimètres supérieurs du sol, de texture limono-argileuse et sans éléments grossiers, contrastent nettement avec la partie superficielle équivalente du sol de la zone de transit ci-dessus où la texture est sableuse avec de nombreux graviers. Grâce à cette texture fine, la surface du sol de cette zone pionnière se fissure sous l'effet de la dessiccation, ce qui ne se produit pas dans la zone de transit. Cette morphologie de la surface du sol favorise ainsi, d'une part, le piégeage des graines et d'autre part, une meilleure infiltration de l'eau à ce niveau, avec pour conséquence une colonisation progressive par la végétation de cette zone pionnière.

2. L'arc végétal proprement dit où l'on distingue deux parties :

- le front de l'arc, constitué par une strate arbustive dominée surtout par *Flourensia cernua* et une strate herbacée à *Hilaria mutica*, l'ensemble ayant un recouvrement de 40 à 60 %.

- le corps de l'arc, qui présente une strate arbustive dense, très variée en espèces, certaines atteignant 3 à 4 mètres de hauteur telle que *Prosopis glandulosa*, et une strate herbacée à *Hilaria mutica*. Le recouvrement de la végétation est de 60 à 80 % dans la moitié amont, tandis qu'en allant vers l'aval il diminue progressivement jusqu'à 30 %. Dans cette zone aval de l'arc de végétation, les espèces sont moins nombreuses et on note la présence de vieilles touffes herbacées et d'arbustes dépérissants.

Hilaria mutica se rencontre dans l'ensemble de l'arc végétal avec un taux de recouvrement variable, passant de 60 à 30 % de l'amont vers l'aval. Cette espèce présente la même distribution contractée en touffes alternant avec des espaces dénudés donnant le micro-relief caractéristique, tel que nous l'avons décrit pour l'unité précédente.

3. L'espace inter-arc aval, constitué par une zone de transit qui fait suite à l'arc végétal, avec une dénivellation brutale de 10 à 15 cm. de la topographie. La végétation y est pratiquement absente, seuls se rencontrent quelques cactacées et des restes ligneux d'arbustes morts. Cette zone passe progressivement à la zone de transit amont de l'arc végétal suivant.

La couverture pédologique ne présente pas d'hétérogénéité majeure pour l'ensemble de cette formation végétale et peut se caractériser par le profil morphologique suivant :

- 0 à 4 cm = structure polyédrique subanguleuse fine avec une tendance à grumeleuse peu exprimée, poreux, fragile, présence de graviers, racines.
- 4 à 40 cm = structure polyédrique fine, nombreuses racines, peu poreux, peu fragile, présence de graviers.
- 40 à 65 cm = structure massive, très peu poreux, très compact, très peu fragile, quelques racines, présence de graviers.
- 65 à 90 cm = horizon d'altération de la roche-mère, structure polyédrique moyenne, peu poreux, peu fragile.
- 90 à 110 cm = horizon de transition, terre fine en agrégats polyédriques fins juxtaposés à des fragments de roche-mère non altérée, peu poreux, peu fragile.
- plus de 110 cm = roche-mère de type marne, non altérée, à débit en plaquettes et fragments centimétriques.

La texture est fine à équilibrée (tableau 3) et la conductivité électrique est faible, indiquant l'absence de salinité dans ce sol. Le carbonate de calcium et le gypse ne présentent aucune forme d'accumulation secondaire visible : il s'agit d'éléments primaires, d'origine lithologique. La teneur en carbone organique dépasse 2 % en surface, ce qui est à mettre en relation avec la densité de la couverture végétale de cette formation.

TABLEAU 3
CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DU SOL DE LA STATION MOGOTE

Profond. (cm)	Texture (%)			CE (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	pH eau	M.O. (‰)		
	A	L	S				C	N	C/N
0-3	15,9	42,3	41,8	1,00	12,2	8,1	22,2	2,39	9,3
6-14	28,0	16,2	55,8	0,80	12,8	8,5	5,47	0,76	7,2
25-33	33,1	15,2	51,7	0,60	22,4	7,7	3,40	0,50	6,8
48-58	24,1	31,2	44,7	1,00	22,0	8,2	2,12	0,46	4,6
71-79	39,4	42,4	18,2	0,75	33,7	8,4	2,10		
97-105	37,4	48,0	14,6	2,00	36,7	8,8			
130-140	41,0	24,7	34,3						

A = argile - 0 à 0,002 mm
L = limon - 0,002 à 0,050 mm
S = sable - 0,050 à 2 mm
CE = conductivité électrique

CaCO₃ = carbonate de calcium
M.O. = matière organique
C = carbone organique
N = azote total

Selon la classification FAO/UNESCO (1976), ce sol est un Xérosol modal sur matériau fin d'apport, reposant à moyenne profondeur sur un matériau marneux autochtone.

Méthodologie

Comme pour l'écosystème précédent, nous avons suivi l'évolution du stock hydrique du sol dans le temps par mesures périodiques de l'humidité avec un humidimètre à neutrons, durant quatre années.

Les sites de mesure sont localisés dans chacune des unités constituant la formation étudiée le long d'une ligne orientée selon la pente qui recoupe ainsi perpendiculairement l'arc de végétation (Fig. 5).

Comme précédemment, nous avons sélectionné deux épisodes pluvieux qui vont nous permettre de caractériser le fonctionnement hydrodynamique de cette formation végétale.

Fonctionnement hydrodynamique du milieu

Les deux pluies retenues sont elles aussi importantes pour la région et, bien qu'elles se soient produites en même temps que les deux pluies étudiées dans le cas de l'écosystème précédent, elles ont une hauteur inférieure, respectivement de 23,2 et 37,0 mm.

Le stock hydrique a été calculé avant et immédiatement après l'événement pluvieux. Nous constatons là aussi qu'il existe une accumulation différentielle notable de l'eau dans le sol selon la localisation du site de mesures le long du transect amont-aval de l'arc végétal (tableau 4 et Fig. 6A et 6B).

C'est pour les sites 3 et 4 que l'infiltration est la plus profonde, et cela d'autant plus que la pluie est plus importante. Inversement, dans les sites 1 et 5, l'infiltration reste superficielle, tandis que le site 2 occupe une position intermédiaire.

En ce qui concerne l'eau stockée par le sol, c'est la partie amont de l'arc de végétation (site 3) qui accumule le maximum d'eau avec une quantité représentant 3 fois la hauteur de pluie, tandis que la partie centrale (site 4) stocke 1,5 à 2 fois cette même hauteur. La zone pionnière (site 2) emmagasine une quantité d'eau semblable à la pluie, alors que les espaces inter-arc amont et aval (sites 1 et 5) ne stockent que 30 à 50 % de cette

TABLEAU 4
BILAN HYDRIQUE DU SOL PAR TRANCHES POUR LES CINQ SITES
CARACTERISTIQUES DE LA STATION *MOGOTE* POUR DEUX PLUIES DISTINCTES

Site	Tranches de sol (cm)	Pluie de 23,2 mm			Pluie de 37,0 mm		
		Stock hydrique du sol (mm)			Stock hydrique du sol (mm)		
		Av.	Ap.	Acc.	Av.	Ap.	Acc.
1	0-20	17,7	13,7	6,0	10,7	21,9	11,2
	20-40	11,7	12,2	0,5	12,3	12,9	0,6
	total			6,5			11,8
	bilan		déficit 72 %			déficit 68 %	
2	0-20	13,1	27,1	14,0	16,6	46,1	29,5
	20-40	18,7	23,6	4,9	27,2	36,8	9,6
	40-60	21,4	21,8	0,4	30,3	30,4	0,1
	total			19,3			39,2
	bilan		déficit 17 %			excès 6 %	
3	0-20	8,3	30,2	21,9	11,0	41,4	30,4
	20-40	17,8	39,1	21,3	17,8	46,9	29,1
	40-60	20,5	40,1	19,6	23,6	50,5	26,9
	60-80	19,1	26,2	7,1	23,8	47,7	23,9
	80-100				23,7	27,3	3,6
	total			69,9			113,9
bilan		excès 201 %			excès 208 %		
4	0-20	8,8	34,9	26,1	11,7	42,6	30,9
	20-40	16,7	36,6	19,9	18,1	38,6	20,5
	40-60	25,8	30,3	4,5	20,1	27,9	7,8
	60-80				17,1	18,3	1,2
	total			50,5			60,4
bilan		excès 118 %			excès 63 %		
5	0-20	11,5	17,3	5,8	14,0	30,3	16,3
	20-40	15,0	16,6	1,6	18,3	21,4	3,1
	40-60				19,9	20,0	0,1
	total			7,4			19,5
bilan		déficit 68 %			déficit 47 %		

Av. = stock d'eau avant la pluie pour la tranche de sol considérée.

Ap. = stock d'eau après la pluie pour la tranche de sol considérée.

Acc. = stock d'eau accumulée durant la pluie (différence entre les deux valeurs précédentes).

$$\text{Bilan} = \frac{\text{Stock total d'eau accumulée} - \text{hauteur de pluie}}{\text{hauteur de pluie}} \times 100$$

site 1 = zone de transit amont; site 2 = zone pionnière; site 3 = front de l'arc de végétation; site 4 = corps de l'arc de végétation; site 5 = zone de transit aval.

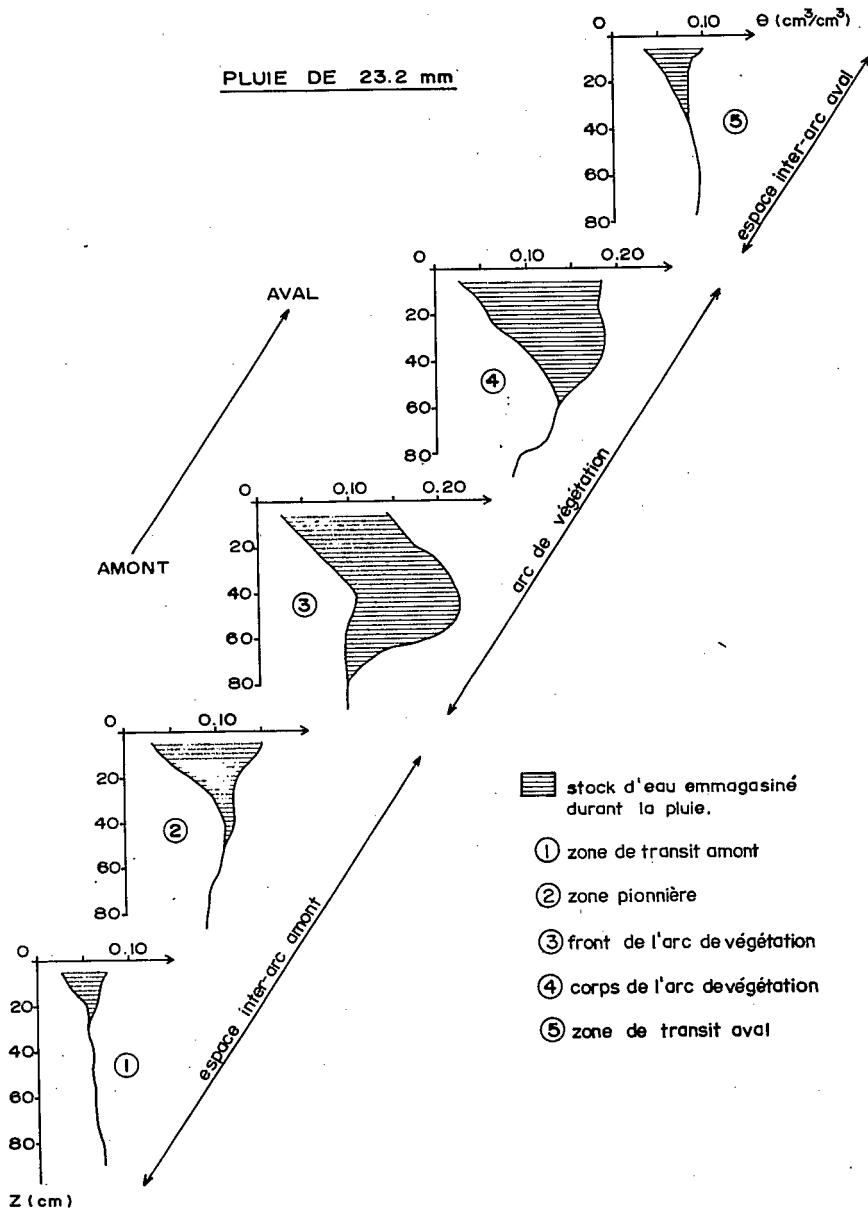


Fig. 6A. Profils hydriques, avant et après une pluie de 23, 2 mm, et stockage de l'eau dans le sol d'amont en aval d'un arc de végétation.

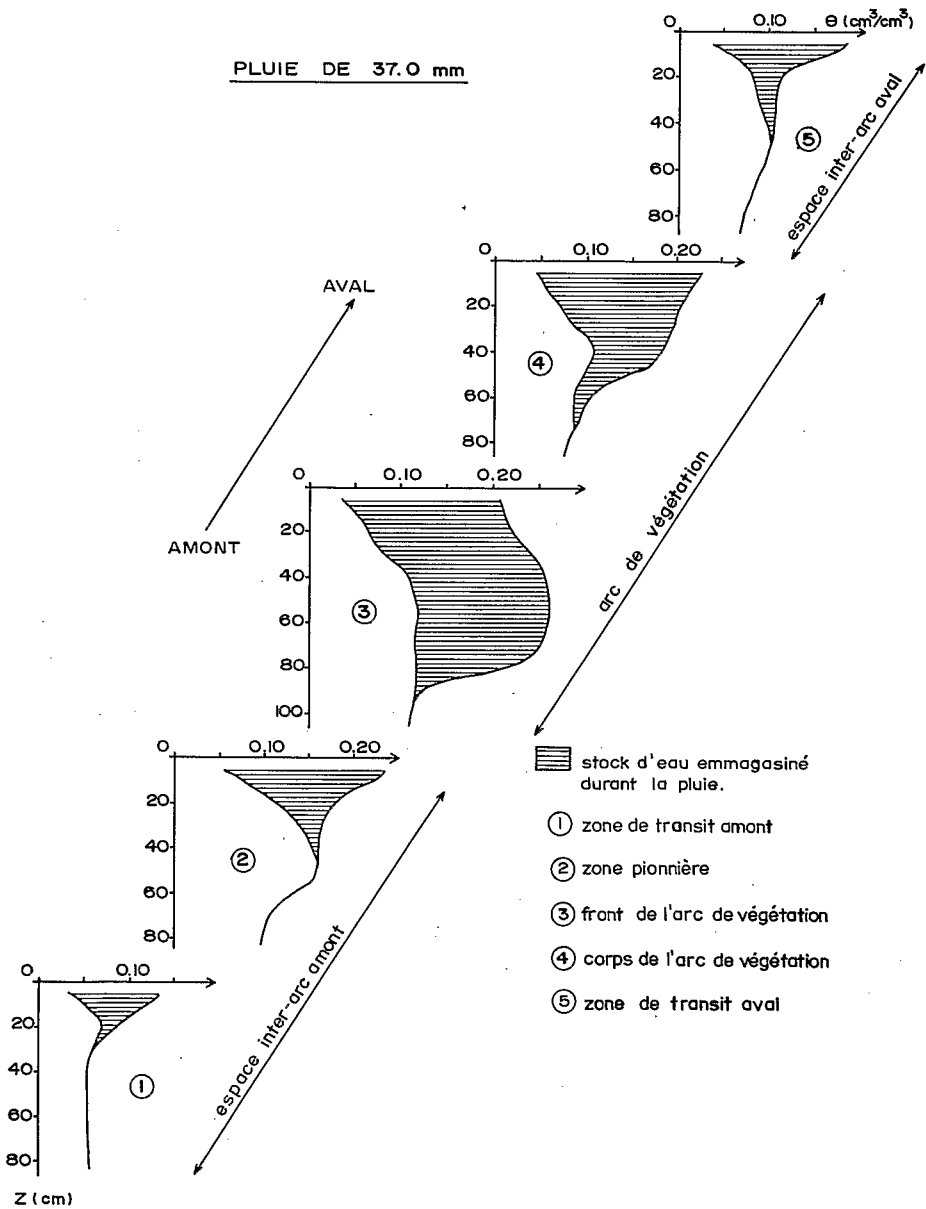


Fig. 6B. Profils hydriques, avant et après une pluie de 37,0 mm, et stockage de l'eau dans le sol d'amont en aval d'un arc de végétation.

dernière.

Ce stockage différentiel de l'eau dans le sol s'explique par la nature des différentes unités constituant l'arc de végétation, et en particulier par l'état de la surface du sol.

Cette dernière, dans la zone de transit amont de l'arc végétal, se présente sous forme d'une pellicule continue très peu perméable sur laquelle repose de nombreux petits graviers : cette organisation de la partie superficielle du sol constitue un milieu beaucoup plus favorable au ruissellement qu'à l'infiltration. La topographie plane sans micro-relief de ce milieu et sa pente faible (0,6 %) permettent de plus la naissance et le développement d'un important ruissellement en nappe à ce niveau de l'arc de végétation.

Cette zone amont se comporte ainsi comme un impluvium qui collecte et concentre l'eau en surface. Celle-ci s'écoule naturellement vers l'aval où elle est interceptée par la zone pionnière : une fraction de cette eau d'apport s'y infiltre dès son arrivée par suite de la fissuration de la surface du sol et d'une texture moins fine.

Mais c'est surtout la zone située plus en aval, c'est-à-dire l'arc de végétation lui-même, et essentiellement la partie amont de celui-ci, qui bénéficie de l'apport d'eau de ruissellement venant de l'amont. A ce niveau, l'eau est en effet piégée par suite du micro-relief de la surface du sol qui est semblable à celui décrit ci-dessus pour la formation végétale à distribution aléatoire. Comme précédemment, le stockage de l'eau dans le sol se fait de manière différentielle en fonction de l'alternance de touffes végétales en relief et d'espaces inter-touffes en dépression.

C'est ainsi qu'avec cette redistribution superficielle de l'eau, l'arc de végétation reçoit au total 1,5 à 3 fois la hauteur de pluie annuelle, ce qui permet d'expliquer la densité et la diversité de cette formation végétale, bien que l'on soit en milieu aride.

Conclusions

L'étude expérimentale de deux écosystèmes caractéristiques de la zone aride du nord du Mexique, a permis de mettre en évidence la dynamique de leur fonctionnement, laquelle est déterminée, d'une part, par le facteur eau d'origine pluviale et par sa redistribution spatiale dans le paysage, et, d'autre part, par les propriétés intrinsèques de la couverture pédologique.

L'existence même de ces deux écosystèmes est conditionnée par ces paramètres eau et sol, lesquels présentent dans ce milieu aride des caractéristiques de contrainte, auxquelles doivent faire face les espèces vivantes, en particulier la végétation. Ces facteurs limitants se traduisent par deux types d'aridité, l'une climatique, l'autre édaphique, qui additionnent mutuellement leurs effets négatifs, rendant le milieu encore plus hostile. L'aridité climatique se caractérise par des températures élevées de mai à octobre, par la rareté des pluies, par leur forte variabilité à la fois spatiale et temporelle, ainsi que par leur mauvaise distribution au cours de l'année, la majorité de celles-ci se produisant durant la période la plus chaude à forte demande évaporative. Ainsi, ce n'est seulement qu'une fraction de la quantité d'eau pluviale disponible, déjà faible pourtant, qui est stockée dans la couverture pédologique, ce qui traduit un aspect de l'aridité édaphique de ce milieu. Cette dernière est accentuée par des propriétés hydrodynamiques défavorables du sol : infiltration très limitée de l'eau vers la profondeur, par suite d'une texture lourde à argiles gonflantes, d'où, corrélativement, constitution d'une réserve hydrique seulement dans la partie supérieure du sol avec des pertes par évaporation d'autant plus importantes.

Face à ces contraintes d'aridité et afin de pallier à l'insuffisance en eau et pour utiliser au mieux celle-ci, la végétation a trouvé une parade, sans aucune intervention de l'homme, en s'adaptant aux contraintes imposées par le milieu. Pour cela, la couverture végétale se distribue spatialement de manière contractée, à différentes échelles, sous forme de plages végétales denses, soit du type monospécifique, soit du type complexe (diversité d'espèces), qui alternent, soit régulièrement, soit irrégulièrement, avec des espaces totalement dépourvus de végétation. Ceux-ci, véritables impluviums, constituent des milieux très favorables au ruissellement de surface, par suite essentiellement de la nature et de l'état de la pellicule superficielle du sol, et correspondent ainsi à des zones de transfert pour l'eau de ruissellement. Cette dernière va alors s'accumuler, en fonction de la pente, dans les zones adjacentes à végétation où elle est piégée de manière forcée par suite de la présence d'un micro-relief induit par l'alternance, à l'échelle métrique, de touffes végétales en relief et de micro-dépressions dans les espaces inter-touffes. Cette redistribution spatiale des flux hydriques de surface, concentre l'eau vers les zones à végétation qui reçoivent ainsi de 1,5 à 3 fois la pluviométrie annuelle.

Cette hydrodynamique permet ainsi d'expliquer la présence simultanée sous forme d'une mosaïque, dans un même écosystème aride, de deux milieux très différents : d'une part, des zones sans aucune végétation, qui

s'apparentent à un désert minéral strict, hyper-aride, et, d'autre part, des plages de végétation dense qui utilisent les ressources hydriques d'un milieu sub-humide. Cette physionomie indique que l'écosystème, dans sa dynamique évolutive et sous la pression des contraintes d'aridité, ne peut subsister qu'en auto-stérilisant une fraction de son domaine, le transformant localement en zones purement minérales, où la vie végétale a disparu. Les chances de colonisation ou de re-colonisation par la végétation de ces milieux dénudés sont d'ailleurs très réduites, car il s'agit de zones où l'eau ne fait que transiter et où les graines ne peuvent s'enfouir dans le sol, par suite de la présence d'une croûte en surface du sol.

CARACTERISTICAS DE LA SALINIDAD EDAFICA EN LA PARTE BAJA DE UNA CUENCA ENDORREICA

José Luis González Barrios

Resumen

Este estudio concierne a la parte baja de una cuenca endorreica en medio árido, donde se estudió durante la época seca de 1984 la salinidad del suelo. Se investigó el origen y la repartición de la salinidad a nivel del perfil del suelo y a nivel del paisaje. El análisis de la información obtenida, permitió una caracterización de seis tipos de perfiles de conductividad eléctrica que expresan su face salina dominante. La salinidad es originada en las transformaciones geoquímicas sufridas por los productos de alteración del sustrato de la cuenca, bajo la influencia del clima. La repartición actual de la salinidad en el suelo está en relación con la solubilidad de las sales presentes y con los factores que influyen la distribución de las aguas de escurrimiento. Se formulan propuestas para profundizar el estudio de la salinidad del suelo a nivel de superficie: diagnóstico, previsión y evolución.

Résumé

Ce travail a été réalisé à l'aval d'un bassin endoréique en milieu aride où l'on a étudié pendant la saison sèche 1984, la salinité du sol à l'aide de profils de conductivité électrique. Nous avons recherché l'origine de la salinité et déterminé sa répartition au niveau du profil de sol et du paysage. L'analyse de l'information obtenue a permis de caractériser six profils de conductivité électrique exprimant les faciès salins prédominants de la zone d'étude. La salinité provient des transformations géochimiques des produits d'altération des roches constituant l'ancien substrat sous l'influence du climat. La répartition actuelle de la salinité est en liaison avec la solubilité des sels présents et avec les facteurs qui régissent la distribution des eaux de ruissellement. Des propositions sont formulées pour approfondir l'étude de la salinité du sol au niveau de surface : diagnose, prévision et évolution.

Summary

Soil salinity in the bottom of an endoreic bassin of the aride zone, was studied in the dry season 1984, by profiles of electrical conductivity. Research includes the origin and the repartition of salinity into the soil profile and on the soil landscape. Six profiles of electrical conductivity were characterized, with theirs predominant salinity "facies". Salinity was originated by geochemist transformations over the altered rocks of the sustrat under the climate influence. Salinity is reparted in the landscape, in relation to the solubility of salts and with all the factors that lead the distribution of floodoing waters. Propositions are made in order to study in depth the diagnostic prediction and evolution of salinity in the soil surface.

Introducción

Este tema forma parte del proyecto ORSTOM-Instituto de Ecología titulado Estudio de los recursos vegetación, agua y suelo de la reserva de la biosfera de Mapimí (Durango, México).

Es un estudio realizado en la región más baja de la reserva. Durante la estación seca de 1984 fue, en efecto, estudiada la salinidad de los suelos por medio de observaciones de campo y de análisis en el laboratorio de numerosas muestras (González Barrios, 1986). El principal resultado fue una caracterización de la salinidad en tipos (15) de perfiles de conductividad eléctrica, que pueden ser ahora redefinidos y sintetizados. El objeto del trabajo fue contribuir al conocimiento de la salinidad edáfica mediante el estudio de su tipo y grado de afectación, además de conocer su repartición en el espacio.

Después de una presentación de la zona de estudio, abordaremos la caracterización de la salinidad estudiando su repartición tanto en el perfil del suelo como en el paisaje.

Presentación de la zona de estudio

Localización geográfica y clima

La zona de estudio se localiza en la reserva de la biosfera de Mapimí al norte de México (Fig. 1). Constituye la parte baja de una cuenca endorreica. La altitud varía entre los 1130 y los 1100 m sobre el nivel del mar.

El clima es de tipo árido y continental. Se caracteriza por una estación de lluvias estival (junio a septiembre) y por una estación invernal fresca y seca (Cornet, 1984). La pluviometría y la temperatura anual medias son respectivamente de 272 mm y 20.6 °C.

Las grandes unidades del paisaje

La figura 2 muestra las grandes unidades de paisaje de la reserva de Mapimí (Montaña y Breimer, 1981) y la situación particular de la zona de estudio que corresponde a las unidades I y II (relieves planos), muy marginalmente a las unidades Va y Vb (paisajes de cerro de origen ígneo y sedimentario con sus bajadas). La zona de estudio concierne solamente la parte inferior de las bajadas, es decir la bajada inferior.

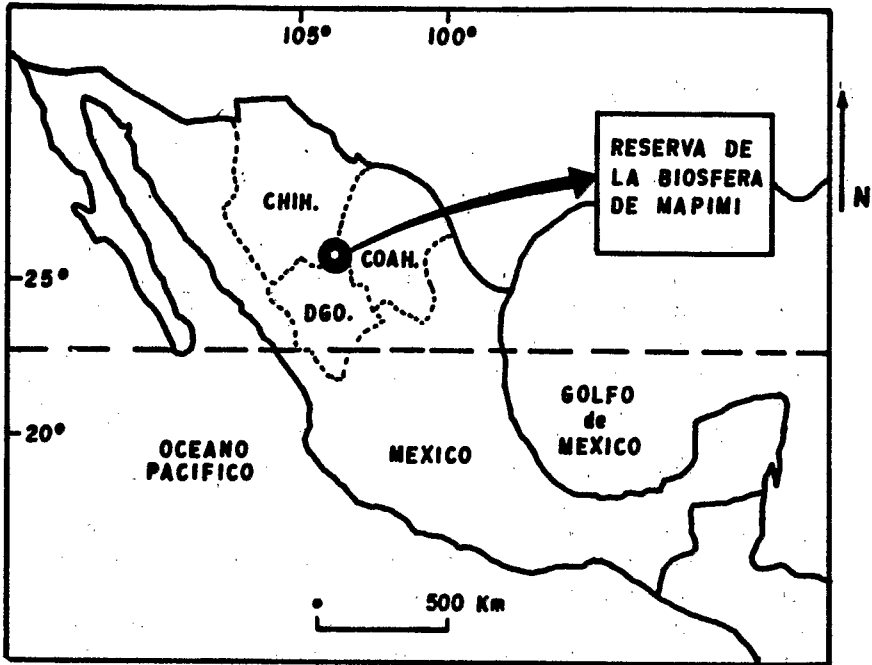


Fig. 1. Localización geográfica de la reserva de la biosfera de Mapimí.

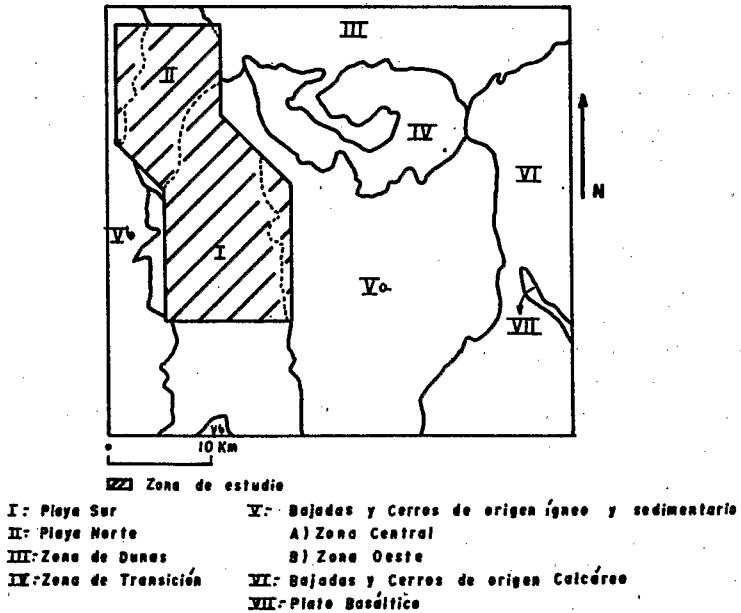


Fig. 2. Localización de la zona de estudio en la reserva de la biosfera de Mapimí.

Principales unidades geomorfológicas

La figura 3 muestra las principales unidades geomorfológicas de nuestra zona de estudio que se extiende en aproximadamente 33000 hectáreas.

La bajada inferior, con pendientes de 1 a 3 %, desciende al este y al oeste de la playa, desde cerros y lomas. Sus suelos desarrollados sobre depósitos coluviales y aluviales son gravosos, bien drenados de textura media a gruesa, moderadamente profundos y localmente con horizontes calcáreos. Su vegetación tiene una cobertura de 20 a 30 % dominada por especies como *Hilaria mutica*, *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua*. Se presenta generalmente agrupada en forma de mogotes que alternan con matorrales abiertos de *Larrea tridentata* y *Castela texana*.

La zona de playa corresponde al fondo de la cuenca endorréica llamada Laguna de Palomas cuya área de captación es de casi 19000 km cuadrados. En términos de tectónica, es un grabén relleno por sedimentos aluviales y lacustres, acumulados en un gran espesor de varias decenas de metros (Breimer, 1985). Físicamente la playa presenta un relieve plano con pendientes inferiores al 1 %. Sus suelos son profundos, de textura fina y presentan diversos grados de salinidad. La vegetación en la parte sur, tiene una cobertura de 20 a 40 % dominada por pastizales de *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides* además de otras especies arbustivas como : *Prosopis glandulosa*, *Suaeda nigrescens*, *Atriplex canescens* y *A. acanthocarpa*. En la porción norte de la playa y en las zonas vecinas a las desembocaduras del cauce principal, la vegetación tiene una cobertura de 5 a 30 % dominada por halófitas como : *Allenrolfea occidentalis*, *Sesuvium verrucosum* y *Suaeda suffrutescens*.

Ubicada al norte, la Laguna de Palomas es el fondo de la cuenca endorréica. Ella recibe el escurrimiento mediante dos zonas de desembocadura una al este y otra al suroeste. Inundada intermitentemente, la laguna tiene una topografía plana con pendientes inferiores al 0.5 %. Sus suelos, desarrollados a partir de depósitos aluviales recientes, se presentan desnudos con caracteres hidromórficos (pseudogley) y son extremadamente salinos (hasta tres veces la concentración del agua de mar).

Al este de la laguna de Palomas, existen dos cordones de dunas fósiles de yeso, de hasta 20 m de altura. Estos cordones han sido formados por deflación eólica de los sedimentos lacustres provenientes de la laguna, y depositados luego en su borde (Delhoume, 1988). Un cordón de dunas se extiende hacia la zona de playa sur y se presenta en forma de relictos

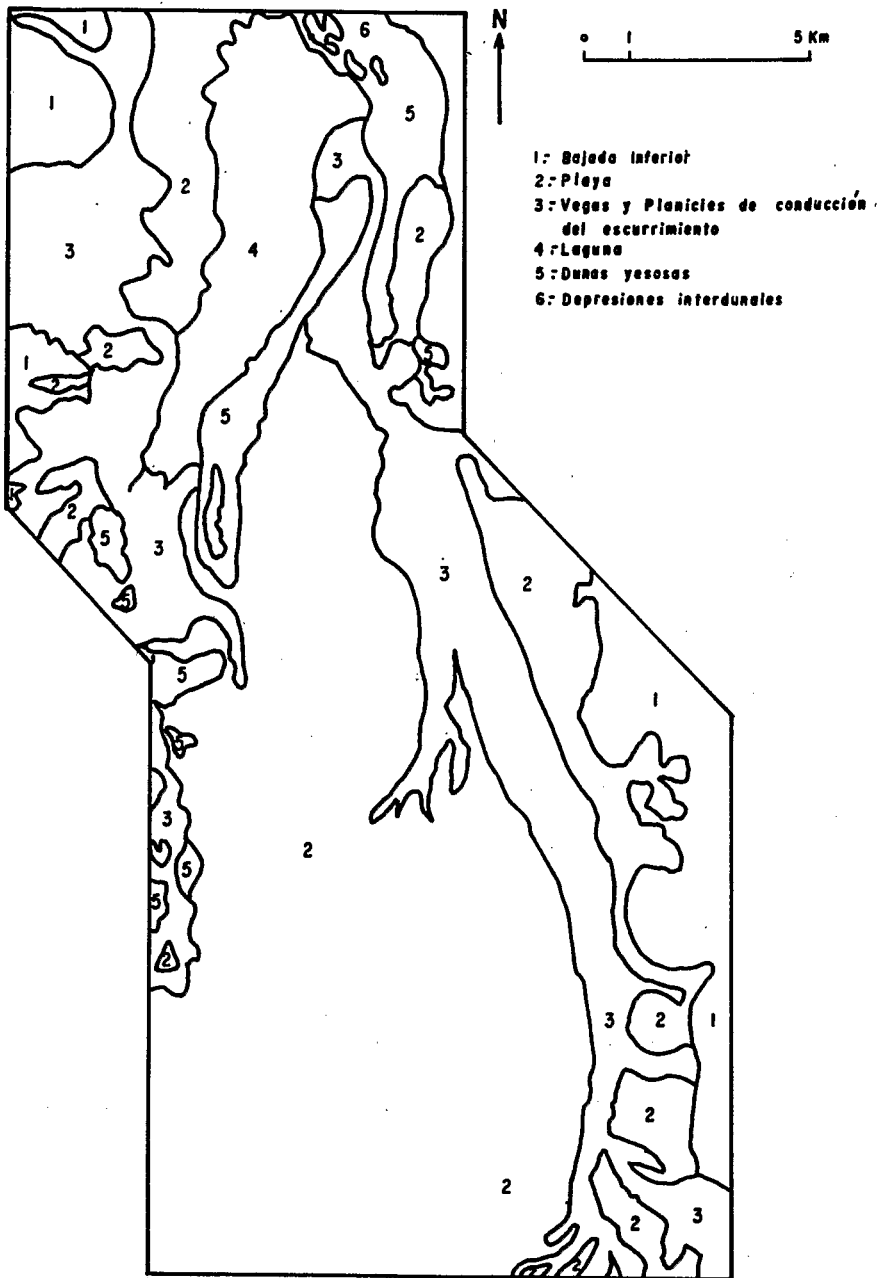


Fig. 3. Principales unidades geomorfológicas.

(lomas de yeso). Sus suelos son de textura gruesa, ricos en yeso y localmente con una facie petrogíptica que aflora en superficie. Su vegetación tiene una cobertura de 10 a 20 % y está dominada por especies arbustivas como *Haplopappus heterophyllus*, *Larrea tridentata* y por herbáceas como *Sporobolus spiciformis* y *S. criptandrus*.

Técnicas y métodos utilizados

Las técnicas y métodos utilizados comprenden la colecta, el análisis y la interpretación de la información de campo adquirida durante la estación seca de 1984 (enero a mayo). El examen de las fotos aéreas, escala 1:25 000, permitió escoger sitios representativos de las principales unidades geomorfológicas, 19 en total. Para cada uno de los sitios se hizo una descripción morfológica del perfil del suelo y del medio ambiente inmediato al sitio (2500 m²). Además se efectuó un muestreo del suelo a nivel de sus horizontes morfológicos.

Análisis de suelos en laboratorio. A cada muestra se le hicieron las siguientes determinaciones :

- Conductividad eléctrica (en el extracto de la pasta saturada a 25 °C).
- el pH (del extracto de la pasta)
- el contenido y el tipo de aniones y cationes solubles en el extracto de la pasta saturada. Sean : carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos además del calcio, magnesio, sodio y potasio solubles
- el porcentaje de sodio intercambiable
- el porcentaje de carbonatos totales
- el contenido de yeso, según el método de diferencia de pesos de Nelson, 1978.

El análisis de estos parámetros (González-Barrios, *op. cit.*) permite establecer una tipología de perfiles de conductividad eléctrica (CE) a la vez que la dominancia iónica en las concentraciones del extracto de la pasta saturada, que dan una idea acerca de las facies salinas dominantes.

Características de la salinidad

Fenómeno muy dinámico, sobre todo en superficie, el contenido y el tipo de sales en el suelo de nuestra zona de estudio, puede ser caracterizado mediante seis perfiles de conductividad eléctrica que muestran al mismo tiempo la concentración iónica dominante en el extracto de la pasta

saturada.

Interfase bajada inferior-playa

Perfil de CE bajada-playa : predominante en la zona de contacto entre la bajada y la playa; este perfil (Fig. 4) corresponde a suelos de textura media, pobremente diferenciados, ligeramente salinos y sódicos a partir de los 150 cm de profundidad. Su CE es baja en los primeros 150 cm, elevándose ligeramente en profundidad. El pH es más alcalino en superficie que en profundidad. Las concentraciones iónicas dominantes suponen la existencia de las facies salinas siguientes :

- bicarbonato-cálcica de 0 a 5 cm
- sulfato-cálcica de 10 a 20 cm
- sulfato-sódica y cálcica a partir de 95 cm

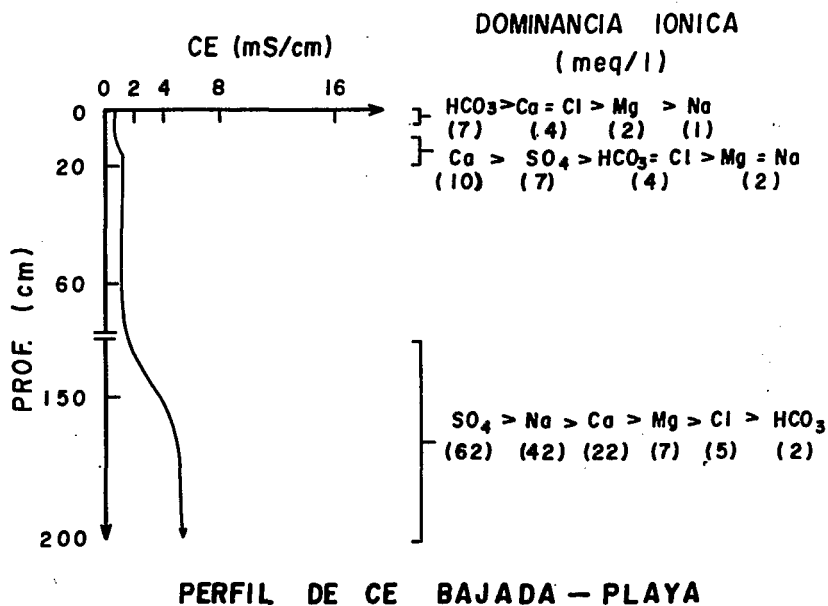
Playa

Perfil de CE playa I : predominante en la porción sur de la playa, este perfil (Fig. 5) corresponde a suelos morfológicamente poco diferenciados, de textura fina, con una fuerte salinidad y sodicidad a partir de los 45 cm de profundidad. Su conductividad eléctrica es relativamente baja en los primeros 30 cm, pero aumenta considerablemente a partir de los 40 cm. Las concentraciones iónicas dominantes suponen la existencia de las facies salinas siguientes :

- sulfato-cálcica de 0 a 5 cm
- cloruro-sódica de 10 a 30 cm
- sulfato-sódica a partir de 40 cm

Perfil de CE playa II : predominante en la porción centro y norte de la playa; este perfil (Fig. 6) corresponde a suelos morfológicamente poco diferenciados, de textura fina, fuertemente salinos y sódicos desde su superficie. La CE es muy alta en todo el perfil, excepto en los primeros 6 cm de profundidad (moderada). Las concentraciones iónicas dominantes, suponen las facies salinas siguientes :

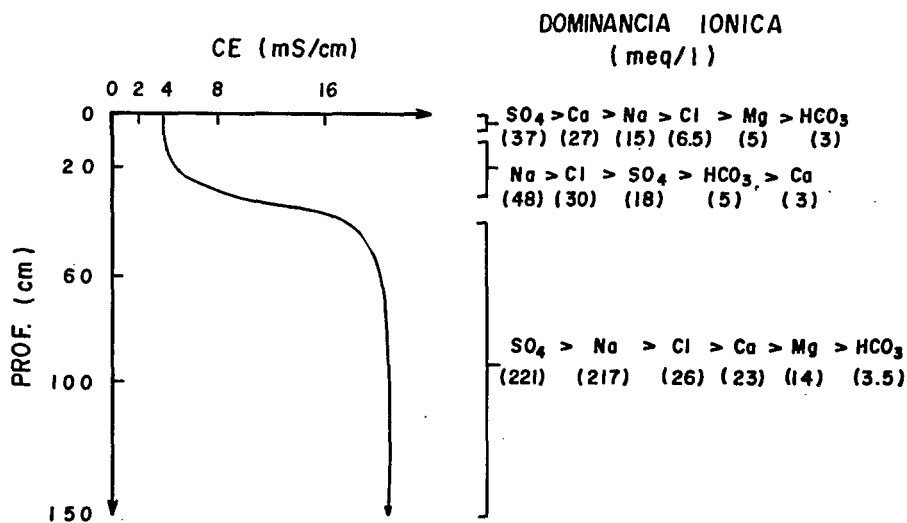
- cloruro-sódica de 0 a 20 cm
- sulfato-sódica a partir de 30 cm



Prof. (cm)	CE mS/ cm	pH ext. past.	Sales Solubles (meq/l)							Na inter- camb. %	Carbo- natos total %	Yeso %	
			Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl				SO ₄
0-5	0.7	8.1	4.0	2.0	1.0	0.6	0.	7.0	4.0	..	1.7	10.0	4.9
10-20	1.6	7.6	10.0	2.0	2.0	0.8	0.	4.0	4.0	7.0	1.7	10.0	7.0
100-200	5.5	7.5	22.0	7.0	42.0	0.2	0.	2.0	5.0	62.0	8.6	16.0	6.8

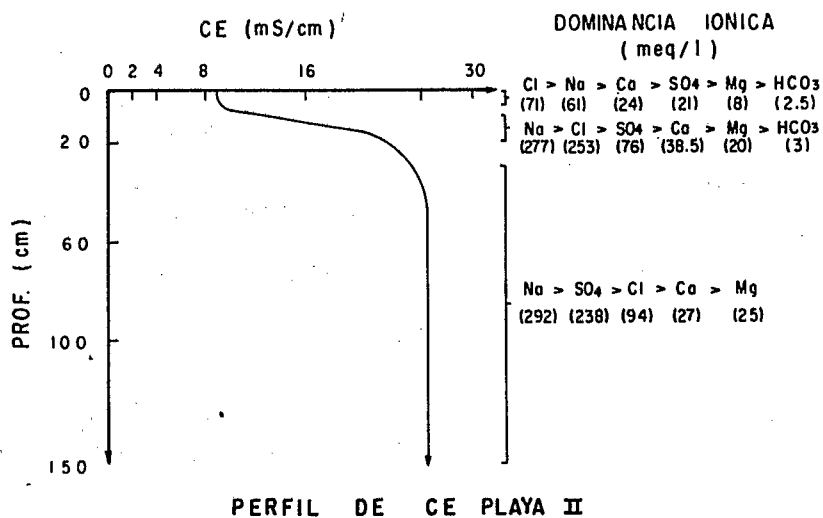
Fig. 4. Datos analíticos del perfil bajada-playa.

Perfil de CE playa III : predominante en la playa vecina a las dos áreas de desembocadura del cauce principal; este perfil (Fig. 7) corresponde a los suelos desarrollados a partir de material aluvial muy reciente, de textura fina, morfológicamente poco diferenciados, extremadamente salinos y sódicos y con la influencia de un manto freático a 65 cm de profundidad. La CE es muy alta en todo el perfil y el pH es casi neutro. Las concentraciones iónicas dominantes, suponen la existencia de una facie cloruro-sódica, con diferentes grados, en todo el perfil.



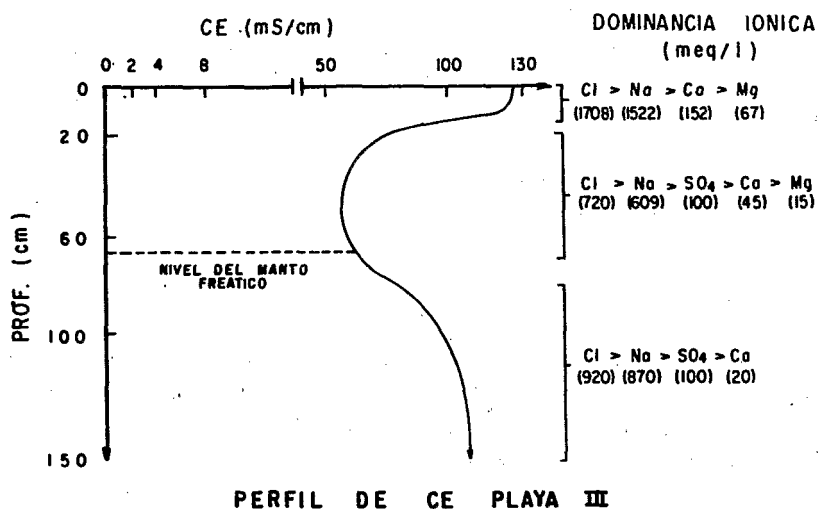
Prof. (cm)	CE mS/ cm	pH ext. past.	Sales Solubles (meq/l)							Na inter- camb. %	Carbo- natos total %	Yeso %	
			Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl				SO ₄
0-5	4.0	7.8	27.0	5.0	15.0	1.3	0.	3.0	6.5	37.0	8.2	19.0	10.0
16-26	6.3	8.1	3.0	2.0	48.0	0.1	0.	5.0	30.0	18.0	> 15	22.0	12.0
30-150	21.0	8.0	23.0	14.0	217.0	0.5	0.	3.5	26.0	221.0	> 15	20.0	20.0

Fig. 5. Datos analíticos del perfil playa I.



Prof. (cm)	CE mS/ cm	pH ext. past.	Sales Solubles (meq/l)								Na inter- camb. %	Carbo- natos total %	Yeso %
			Ca	Mg	Na	K	CO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄			
0-5	9.0	7.7	24.0	8.0	61.0	1.0	0.	2.5	71.0	21.0	> 15	18.0	12.0
10-20	30.0	7.9	38.5	20.0	277.0	1.0	0.	3.0	253.5	76.0	> 15	24.0	15.0
30-150	29.0	7.7	27.0	25.0	292.0	0.5	0.	1.5	94.0	238.0	> 15	25.0	21.0

Fig. 6. Datos analíticos del perfil playa II.



Prof. (cm)	CE mS/cm	pH ext. past.	Sales Solubles (meq/l)								Na inter-camb. %	Carbonatos total %	Yeso %
			Ca	Mg	Na	K	CO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄			
0-14	121.0	6.9	152.0	67.0	1522.	1.0	0.	7.0	1708.	—	> 15	30.0	17.6
20-70	59.0	7.1	45.0	15.0	609.	0.4	0.	8.0	720.	100	> 15	25.0	21.0
80-150	105.0	7.1	21.0	21.0	870.	0.6	0.	6.0	920.	100	> 15	28.0	15.0

Fig. 7. Datos analiticos del perfil playa III.

Laguna

Perfil de CE laguna : predominante en la región costera de la laguna; este perfil (Fig. 8) corresponde a suelos desarrollados a partir de material aluvial depositado muy recientemente. Son suelos de textura media a gruesa, hipersalinos y sódicos influenciados por un manto freático a 145 cm de profundidad, que propicia el desarrollo de caracteres hidromórficos (pseudogley). La CE es extremadamente alta en todo el perfil excepto en superficie (de 0 a 10 cm). El yeso es particularmente abundante y se presenta como cristales en forma de micro rosas de las arenas. Las concentraciones iónicas dominantes, suponen la existencia de las facies salinas siguientes :

- sulfato-cálcica de 0 a 10 cm
- cloruro-sódica a partir de los 15 cm

Dunas fósiles de yeso

Perfil de CE duna de yeso: realizado en la cima de una duna fósil de yeso, este perfil (Fig. 9) corresponde a suelos poco diferenciados de textura gruesa, fuertemente salinos y sódicos a partir de los 70 cm de profundidad. El yeso, abundante a través de todo el perfil, lo es más en superficie donde se observa formando una costra endurecida. La CE es baja en superficie, aumentando gradualmente hasta valores elevados a partir de los 40 cm de profundidad. Las concentraciones iónicas dominantes, suponen la existencia de las facies salinas siguientes :

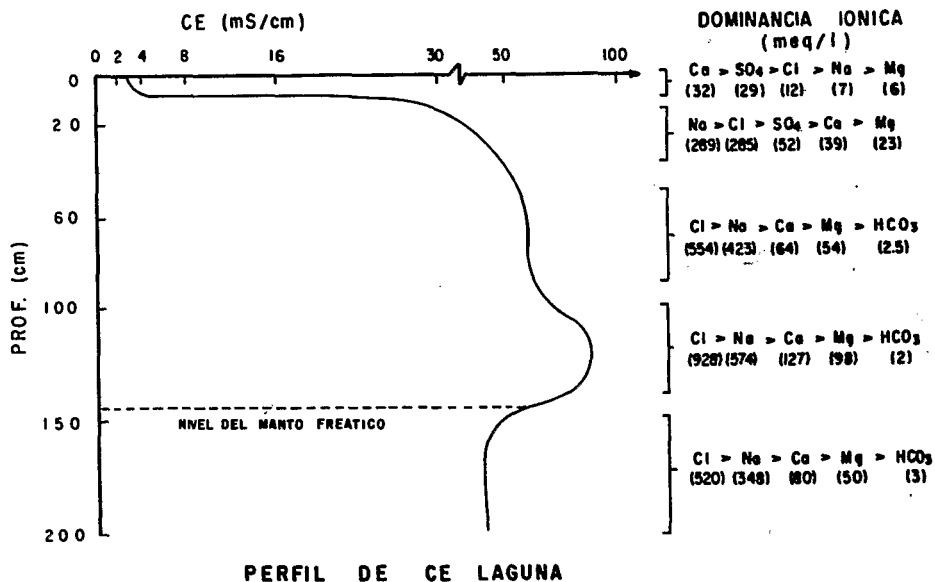
- sulfato-cálcica de 0 a 50 cm
- sulfato-sódica a partir de 50 cm

Discusión y Conclusiones

Origen y manifestación actual de la salinidad

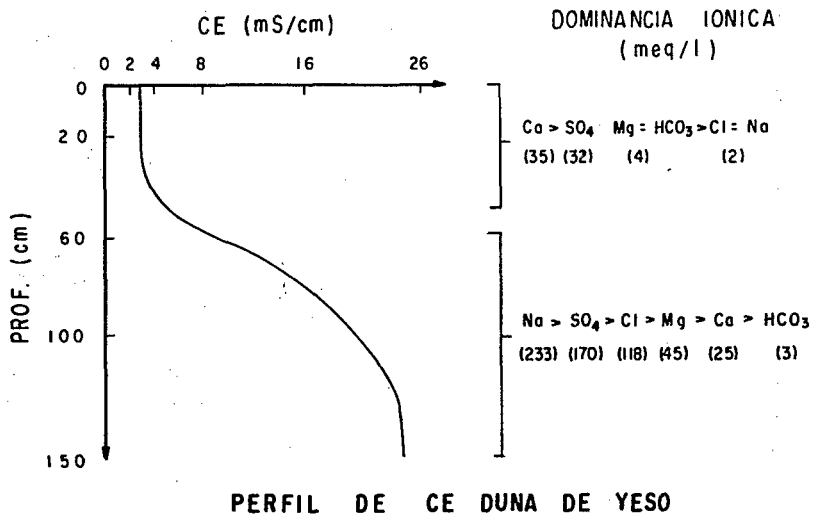
La salinidad de los suelos de la playa se debe a las transformaciones que han sufrido los productos de la alteración de rocas (evaporitas, cristalitas, lavas) que formaron el sustrato de esta cuenca endorréica.

Estos productos con el tiempo han propiciado (a escala geológica) y bajo la influencia del clima, un proceso de salinización y sodización del suelo. Gracias a una larga repetición de ciclos de disolución, recombinación y depósito de sales, actualmente se individualizan suelos salinos e hipersalinos que traducen las transformaciones biogeoquímicas que se llevan a cabo aquí, como en otras regiones áridas continentales.



Prof. (cm)	CE mS/ cm	pH ext. past.	Sales Solubles (meq/l)							Na inter- camb. %	Carbo- natos total %	Yeso %	
			Ca	Mg	Na	R	CO ₃	HCO ₃	Cl				SO ₄
0-6	3.5	7.8	32.	6.0	7.0	0.7	0.	2.0	12.5	29.	7.3	13.0	47.0
16-42	30.0	7.8	39	23.	289	1.0	0.	3.5	285.	52.	> 15	12.0	41.0
52-96	58.0	7.5	64.	54.	423.	1.0	0.	2.5	554.	--	> 15	9.0	52.0
110-140	86.0	6.9	127.	98.	574	2.0	0.	2.0	928.	--	> 15	22.0	14.0
150-200	43.0	7.1	80.	50.	348.	1.0	0.	3.0	520.	--	> 15	27.0	16.0

Fig. 8. Datos analíticos del perfil laguna.



Prof. (cm)	CE mS/ cm	pH ext. past.	Sales Solubles (meq/l)							Na inter- camb. %	Carbo- natos total %	Yeso %	
			Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl				SO ₄
0-50	3.0	8.0	35.0	4.0	2.0	0.3	0.	4.0	2.0	32.0	2.5	15.0	33.0
100-150	24.0	7.8	25.0	45.0	233.	1.0	0.	3.0	118.0	170.0	>15	29.0	28.0

Fig. 9. Datos analíticos del perfil duna de yeso.

Repartición de la salinidad en el perfil del suelo.

La mayor parte de los suelos de la playa presenta una salinidad más elevada en profundidad que en superficie (perfiles playa I y playa II). Esta salinidad tiene una facie cloruro y sulfato-sódica dominante.

Por el contrario, los suelos de las zonas más bajas inundados intermitentemente y ricos en materiales de aporte reciente, presentan una salinidad que no obstante ser elevada en profundidad los es un poco más en superficie (perfil playa III). Esta salinidad es, al parecer, totalmente dominada por una facie cloruro-sódica y constituye, por otra parte, un recurso natural susceptible de explotación como es, el caso de los habitantes del ejido Carrillo al norte de la laguna de Palomas.

Por otra parte, la salinidad de las zonas de contacto entre bajada inferior y playa tiene caracteres de ambas unidades : ligera en superficie y moderada en profundidad. Esta salinidad presenta una segregación vertical de sus sales en función de la solubilidad. La segregación puede ser puesta en evidencia a partir del primer horizonte superficial (0 a 5 cm), donde los bicarbonatos de calcio parecen ser dominantes, más profundo (10 a 20 cm), aparecen los sulfatos de calcio en mayor proporción y finalmente, a partir de los 30 cm, los sulfatos de sodio predominan.

En forma similar las dunas fósiles de yeso presentan una salinidad con caracteres propios que se combinan con los de las unidades en interface, sea la playa o la laguna; por ejemplo, los sulfatos de calcio predominan en los horizontes de superficie (de 0 a 50 cm), luego, a partir de los 60 cm los sulfatos y cloruros de sodio relevan esta dominancia, incrementando notablemente el grado de salinidad bajo la influencia de la laguna.

La repartición de la salinidad en el paisaje

En razón a la talla de nuestro muestreo, no se abordará aquí más que una primera aproximación en el estudio de la repartición de la salinidad a nivel del paisaje (Fig. 10).

La salinidad en el paisaje puede ser estudiada con la ayuda de cuatro perfiles de CE antes descritos, cuya ubicación reconstituye un transecto topográfico de aproximadamente 13 km en sentido sureste-noroeste de nuestra zona de estudio (Fig. 3).

Partiendo de la bajada inferior en contacto con la playa (perfil bajada inferior-playa), hasta el área de desembocadura del cauce principal (perfil playa III), se puede evidenciar, a nivel del primer horizonte superficial del suelo, que :

- A medida que nos aproximamos a la laguna, la salinidad se incrementa.
- Existen evidencias de una secuencia geoquímica de las facies salinas dominantes con una filiación lateral.

Los cloruros (de sodio) son más solubles y más fácilmente transportados en solución; por consecuencia, más abundantes en las zonas bajas donde el aporte de escurrimiento es mayor. Por el contrario, bicarbonatos y sulfatos (de calcio), son menos solubles y menos susceptibles de ser lavados; en consecuencia, más abundantes en los sitios ligeramente más altos, mejor drenados que los precedentes. Entre ambos extremos existen, seguramente, grados intermedios de dominancia salina.

La dinámica actual de la salinidad en la playa, se efectúa al parecer, sólo en el primer horizonte superficial del suelo. La dinámica salina en profundidad ya no es funcional debido quizás a una pérdida de la continuidad capilar entre el horizonte frágil de superficie y los horizontes compactos de profundidad. Esto provoca un lavado lateral del suelo a nivel de su superficie y la formación de perfiles de CE de tipo ascendentes como los que hemos descrito aquí, antes. A nivel de la superficie del suelo podemos constatar que la dinámica salina actual esta influenciada por la repartición del agua de escurrimiento de acuerdo a factores como la pendiente, el microrelieve, la evaporación y la distribución espacial de las lluvias.

Por otra parte, a nivel de la laguna y de sus interfases con la playa, la dinámica actual de la salinidad es además, verticalmente funcional, muy influenciada por los movimientos ascendentes y descendentes del manto freático.

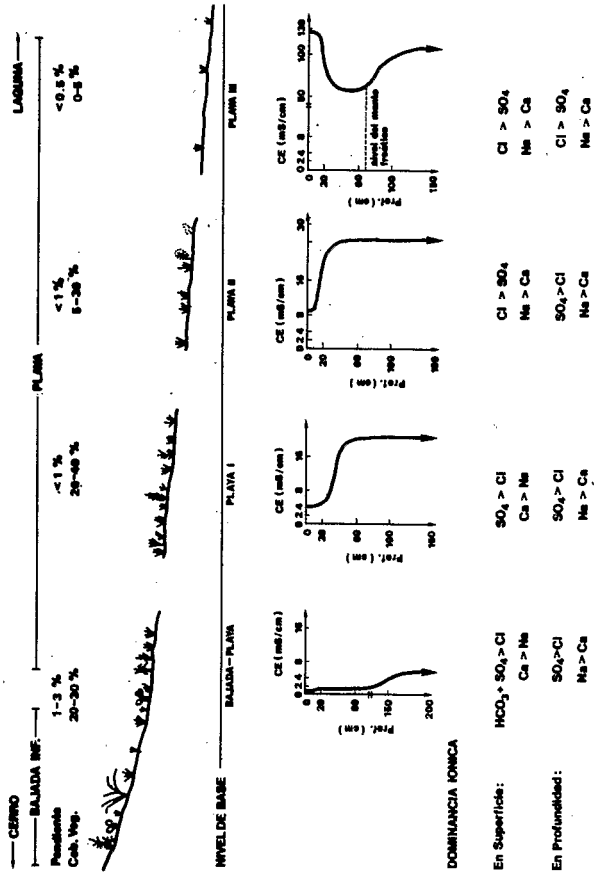


Fig. 10. Secuencia geoquímica de las facies salinas del suelo. Filiación lateral bajada-playa-laguna.

Perspectivas

Previendo la continuación en el estudio de la repartición de la salinidad, se propone la elaboración de una carta de facies salinas dominantes para la playa. Esta carta se realizaría completando la información de campo y de laboratorio que ya existe mediante :

- muestreo complementario del suelo, basado en toposecuencia.
- análisis en laboratorio con métodos pertinentes dadas las características de los suelos.

Igualmente interesante sería establecer, a través de las épocas húmeda y seca, el funcionamiento y las relaciones dinámicas entre la salinidad del suelo (grado y tipo) y los aspectos de su superficie (estados de superficie): costras, eflorescencias, cobertura distribución y tipo de vegetación, etc.

Literatura citada

- Breimer, R. 1985. Soil and landscape survey of the Mapimi biosphere reserve. Durango, México. MAB-UNESCO. 128 p.
- Cornet, A. 1984. Análisis de datos climáticos de la estación laboratorio del desierto. Reserva de la biosfera de Mapimi, México. Documento técnico, Instituto de Ecología.
- Delhoume, J.P. 1988. Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative de la réserve de Mapimi (Mexique), Instituto de Ecología, México.
- González-Barrios, J.L. 1986. Estudio de la repartición de la salinidad en una zona baja (playa) de una cuenca endorréica en el desierto de Chihuahua. Tesis de Licenciatura FCB-UANL, Monterrey, México. 280 p.
- Montaña, C. y R. Breimer. 1981. Vegetación y ambiente de la reserva de la biosfera de Mapimi (Durango). Actas del VIII Congreso Mexicano de Botánica.
- Nelson, R. 1978. Determining soil gypsum content expressing properties of gypserous soils. *Soil Science American Society Journal* 42: 659-661.

II. RECURSO VEGETACION
II. RESSOURCE VEGETATION

INVENTARIO Y ESPECTRO BIOLÓGICO DE LAS PLANTAS VASCULARES

Rosario Ruiz de Esparza

Introducción

Es una necesidad básica conocer los recursos naturales renovables, su estado actual y el uso que reciben.

Uno de los puntos de partida en la evaluación de éstos es el inventario florístico y la caracterización de la vegetación, de aquí el interés de elaborar el inventario florístico de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Los objetivos del presente trabajo son :

- Elaborar el inventario florístico
- Presentar el espectro biológico bruto de las diferentes especies.
- Determinar los tipos de vida o biomorfológicos de las especies enlistadas.

Metodología

Los objetivos mencionados se lograron mediante la siguiente metodología :

- 1) Trabajo de campo : consistió en recorridos de colecta en el área de la Reserva de la Biósfera de Mapimí, durante 1983 y 1984. De cada ejemplar colectado se tomaron los siguientes datos :
 - Localización de la estación de colecta, abundancia de la especie, distribución en el gradiente de toposecuencia.
 - Características de la flor, fruto y hoja.
 - Forma de vida.

Las gramíneas y cyperáceas se clasificaron considerando los tipos morfológicos propuestos por Descoing (1975). El resto de las especies se clasificaron empleando el sistema propuesto por Raunkiaer (1934), modificado por Ellenberg y Müller-Dombois (1967).

2) Trabajo de laboratorio : consistió en secado del material colectado; identificación a nivel específico; montaje de los ejemplares para incluirlos en el herbario de referencia.

Resultados y discusión

Datos generales de la flora

Se registraron 313 especies distribuidas en 199 géneros y 60 familias, la lista de las especies se puede consultar en Ruiz de Esparza (1986).

Los resultados obtenidos son los siguientes :

	Familias	Géneros	Especies y taxa infraespecíficos
Pteridophyta	1	1	1
Gymnospermae	1	1	1
Angiospermae			
Dicotyledoneas	51	162	237
Monocotyledoneas	7	35	7

Ocho familias comprenden 188 especies, repartidas en 96 géneros, constituyendo el 60.1 % de las especies enlistadas : 26 familias comprenden de dos a ocho especies, distribuidas entre 77 géneros y 99 especies, representando el 31.6 % del total : 26 familias representadas por una especie, constituyen el 8.3 % del total.

Las ocho familias mejor representadas (cuadro 1) son : Gramineae con 62 especies, Compositae con 38, Cactaceae con 30, Leguminosae con 16, Malvaceae con 13, Verbenaceae, Euphorbiaceae con 10 y Solanaceae con 9.

Formas de vida

Las especies e individuos pueden ser agrupados en forma de vida en base a sus similitudes de estructura y función. La forma de vida de una especie vegetal es generalmente una característica constante (Müller-Dombois y Ellenberg, 1974).

La clasificación se realizó de acuerdo al sistema propuesto por

Raunkiaer (1934), modificado por Ellenberg y Müller-Dombois (1967).

CUADRO 1
TOTAL DE GENEROS Y ESPECIES DE LAS OCHO FAMILIAS MEJOR REPRESENTADAS

Familia	Número de géneros	Número de especies	Porcentajes de especies
Gramineae	25	62	19.8
Compositae	30	38	12.1
Cactaceae	13	30	9.6
Leguminosae	5	16	5.1
Malvaceae	6	13	4.2
Verbenaceae	7	10	3.2
Euphorbiaceae	5	10	3.2
Solanaceae	5	9	2.9
Total	104	188	60.1

Se encontraron siete grupos principales de forma de vida y 45 tipos de vida, la leyenda se presenta en el cuadro 2. Los totales se presentan en el cuadro 3.

CUADRO 2
SIGLAS Y CONCEPTOS EMPLEADOS PARA INDICAR LOS TIPOS DE VIDA Y FORMA DE CRECIMIENTO

Formas de vida	Altura en m	Forma de crecimiento
F = Fanerófitos	N < 2 M 2 a 5 1 a 2 .5 a 1 R = Rosulada S = Suculenta	A = Arbol a = Arbusto sa = subarbusto
C = Caméfitos	e = erecto	
H = Hemicriptófitos	d = decumbente	
G = Geófito	t = trepadora	
T = Terófito	p = postrada S = Suculenta R = Rosulada	

Por su área foliar las plantas pueden ser :

- a = afila
- n = nanófila < 1 cm
- mi = micrófila de 1 a 5 cm
- me = mesófila > 5 cm

CUADRO 3
TOTAL DE LOS TIPOS DE VIDA, SUMA Y PORCENTAJE DE CADA CLASE DE FORMA DE VIDA

Fanerófitos		Caméfitos		Hemicriptófitos		Geófitos		Terófitos		Parásitas	
Tipo de vida	Total	Tipo de vida	Total	Tipo de vida	Total	Tipo de vida	Total	Tipo de vida	Total	Tipo de vida	Total
MFAan	1	Cea	2	Hen	16	Gen	2	Ten	7	Pv	2
MFAa	1	Cen	9	Hemi	17	Gemi	3	Tem	21	Spw	1
MFan	6	Cemi	30	Heme	6	Gpme	1	Teme	6		
MFame	1	Ceme	3	Hdn	2	Gtmi	1	Tdn	2		
MFS	1	Cdn	1	Hdmi	4	Grs	1	Tdmi	1		
NFAa	1	Cdmi	1	Hpn	3			Tpn	9		
NFan	16	Ctmi	3	Hpmi	8			Tpmi	1		
NFami	9	CS	23	Hpme	3						
NFsaa	1	Crme	3	Htni	1			Gramíneas	24		
NFsan	7										
NFsami	4			Gramíneas	38						
NFS	6										
NFR	4										
Total	58		75		98		8		71		3
%	18.53		23.96		31.31		2.56		22.68		.96
				Total: 313							
				Por ciento: 100 %							

Espectros biológicos brutos

Por su fisonomía los nanofanerófitos caracterizan al paisaje del área de estudio, excepto en las playas que constituyen los pastizales de la reserva.

En el espectro biológico de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, el porcentaje más alto corresponde a los hemicriptófitos, pero al ser estas plantas del estrato herbáceo no son aparentes en el paisaje. El porcentaje de fanerófitos es inferior al de caméfitos y terófitos, como se indica en el espectro biológico de la reserva (Fig. 1).

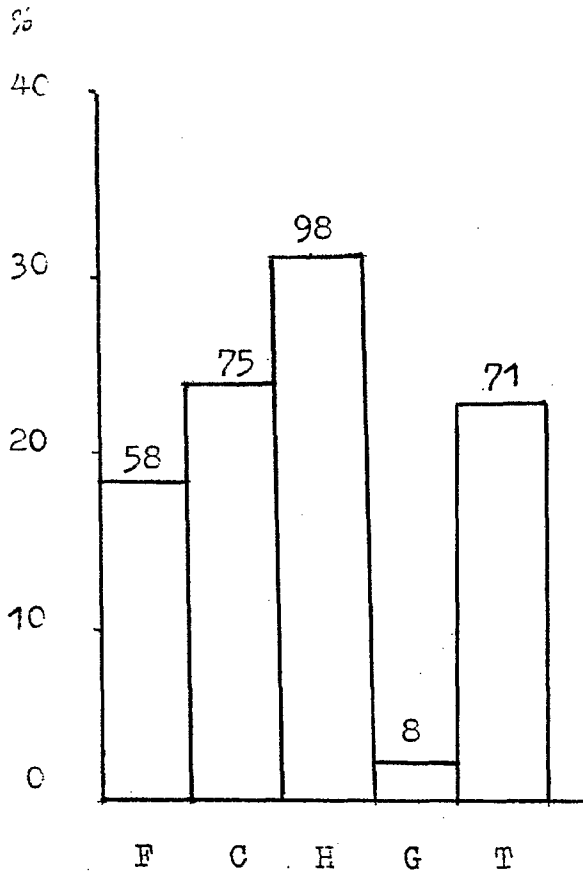


Fig. 1. Espectro biológico bruto del total de especies de la Reserva de la biosfera de Mapimí. F = Fanerófitos, C = Caméfitos, H = Hemicriptófitos, G = Geófitos y T = Terófitos.

1. Fanerófitos. Incluye 58 especies (18.5 % del total), distribuidas en 13 tipos de vida, de los cuales el mejor representado son los nanofanerófitos arbustivos nanófilos con 16 especies, 27.6 % del grupo.

2. Caméfitos. Comprende 75 especies (24.0 % del total), repartidas en nueve tipos de vida, los caméfitos erectos micrófilos con 30 especies, 40.0 % de los caméfitos, presentó mayor número de especies.

3. Hemicriptófitos. Grupo mejor representado, con un total de 98 especies, (31.3 % del total). Del total de los hemicriptófitos 38 especies son gramíneas y constituyen el 38.8 % del grupo, el resto de las especies están distribuidas en nueve tipos de vida, la mayor parte de las especies son hemicriptófitos erectos nanófilos, con 16 especies, 16.3 % del grupo.

4. Geófitos. A este grupo pertenecen ocho especies (2.5 % del total). Se encontraron cinco tipos de vida de los cuales los geófitos erectos micrófilos son los mejor representados.

5. Terófitos. Agrupa 71 especies, (22.7 % del total) de las que 24 son gramíneas, 33.9 % del grupo; el resto de las especies están repartidas en siete tipos de vida, de éstos, 21 especies son terófitos erectos micrófilos, constituyendo el 29.6 % del grupo.

6. Semiparásita vascular. Con una especie.

7. Parásita vascular. Se encontraron dos especies.

Estos dos últimos grupos constituyen el 1 % del total de las especies.

Se prepararon espectros biológicos brutos para cada unidad de geología, geomorfología y suelo, descritas por Montaña y Breimer (1981). En la figura 2 se presentan los espectros de las unidades. A continuación se describe brevemente cada unidad.

Unidad 1. Playa sur. Sus geofomas son : Pastizales y cauce de la Vega. La vegetación está constituida por pastizales de *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides* asociados con *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *Suaeda nigrescens* y *Atriplex canescens* y/o *A. acanthocarpa*. Al este de la playa se localiza el cauce de la Vega, en el cual las especies dominantes generalmente son *P. glandulosa* var. *torreyana* y *Baccharis glutinosa*. Se enlistaron 71 especies, los porcentajes más altos corresponden a los hemicriptófitos 32.4 % con 23 especies y a los terófitos 28.2 % con 20 especies.

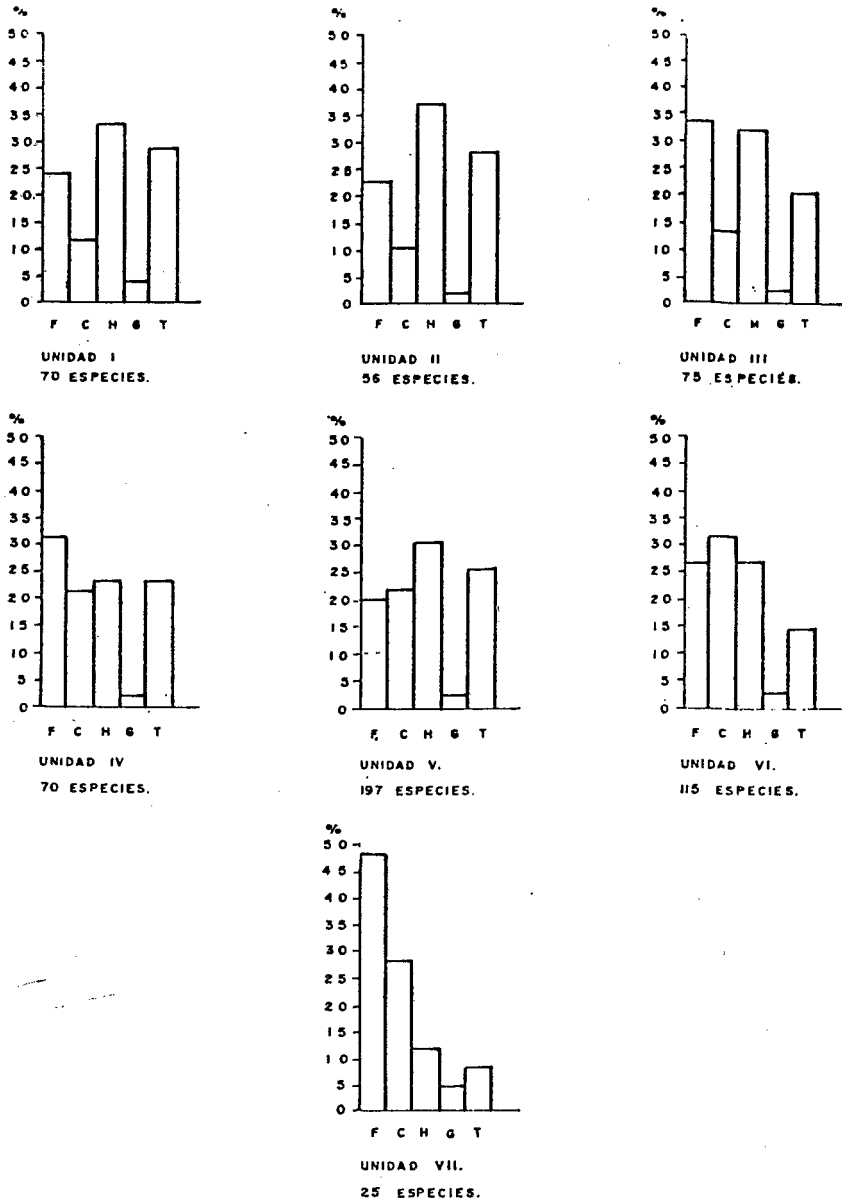


Fig. 2. Espectros biológicos brutos de cada unidad. F = Fanerófitos, C = Caméfitos, H = Hemicriptófitos, G = Geófitos y T = Terófitos.

Unidad 2. Playa Norte. Las geoformas de esta unidad son: duna fósil, interduna, playa, cauce de La Vega y Laguna de Palomas. Al este de la laguna se localizan cordones de dunas fósiles con alto contenido de yeso. La vegetación de los pastizales es muy similar a la que se presenta en la playa sur, las especies más importantes son *S. airoides*, *Sporobolus spiciformis* e *H. mutica*. Se observan matorrales de *A. acanthocarpa*, *Allenorfea occidentalis* y *S. nigrescens*. Las especies dominantes en las dunas fósiles son: *Haplopappus heterophyllus* y *Larrea tridentata* asociadas a *P. glandulosa* y *Sporobolus cryptandrus*. Se registraron 56 especies, alcanzando el valor más alto los hemicriptófitos (36.8 %) con 21 especies y terófitos (28.0 %) con 16 especies. Estas unidades constituyen los pastizales de la Reserva. Ambas unidades son recorridas por el cauce principal, llamado localmente La Vega, el cual desemboca en la Laguna de Palomas.

En las playas existe un gradiente de salinidad que aumenta de sur a norte, los suelos salinos alcanzan valores de 17 a 43 mmhos/cm, los suelos que bordean a la Laguna de Palomas son fuertemente salinos, localizados limitando a la laguna. Las especies presentes son: *A. occidentalis*, *Sesuvium verrucosum* y *S. nigrescens*, forman parte del grupo de plantas que aparecen ligadas exclusivamente a suelos muy salinos, González (1986) reporta su preferencia en su distribución por los rangos de salinidad fuerte extrema (de 16 a 32 y de 32 a 128 mmhos/cm).

Unidad 3. Zona de dunas. Las dunas son longitudinales de 0.3 a 2 km de longitud. Las geoformas distinguidas son: dunas, afloramientos pedregosos e interdunas, la vegetación en las dunas consiste principalmente en un matorral dominado generalmente por *Dalea scoparia*, *Yucca eleata*, *Ephedra trifurca* y *Acacia greggii*. En las depresiones de interdunas habitan *L. tridentata*, *P. glandulosa*, *Opuntia imbricata*, entre otras. En los afloramientos pedregosos se encuentran matorrales de *L. tridentata*, *Jatropha dioica*, *O. imbricata*, entre otras. En los afloramientos pedregosos se encuentran matorrales de *L. tridentata*, *J. dioica*, *Fouquieria splendens* y *Cordia parvifolia*. Se registraron 75 especies, los fanerófitos y hemicriptófitos presentan los valores más altos 33.3 % y 32.0 % con 25 y 24 especies respectivamente.

Unidad 4. Zona de transición eólica fluvial. Caracterizada por presentar elementos del paisaje eólico de la unidad III y del paisaje fluvial de la unidad V. Esta formada por dunas, interdunas, lomas, bajadas superior e inferior. Se pueden distinguir tres elementos en la vegetación: A. pastizales de *H. mutica* a veces con *S. airoides*; B. microdepresiones de extensión variable ocupadas básicamente por anuales *Bouteloua barbata*, *Chloris virgata*,

Eragrostis pillosa, *Aristida adsensionis*, entre otras, y C. matorrales muy abiertos dominados por *P. glandulosa*, *Ziziphus obtusifolia* y *Castella texana*. Se registraron 70 especies de las cuales 22 son fanerófitos 31.0 % del grupo, los porcentajes de caméfitos, hemicriptófitos y terófitos son 15, 16 y 17 respectivamente.

Unidad 5. Bajadas y cerros de origen ígneo y sedimentario. Los elementos del paisaje son : cerro, pie de monte (cono de deyección y cauce de erosión), loma, bajada superior e inferior (zona de peladero, pastizal y mogote). En los cerros lomas y bajada superior la vegetación forma matorrales de *L. tridentata*, *Agave asperrima*, *Euphorbia antisiphilitica*, *J. dioica*, *C. parvifolia*, *F. splendens* y *Opuntia rastrera* entre otras, en la bajada inferior existen agrupaciones de arbustos y herbáceas llamados localmente "mogotes", orientadas perpendicularmente respecto a la pendiente; las principales especies son : *H. mutica*, *P. glandulosa*, *Flourensia cernua* y *Lippia graveolens*, *Aloysia gratisima* entre otras. Unidad con mayor número de especies, se registraron 197 especies de las cuales 80 son hemicriptófitas representando el 30.5 % el grupo de los terófitos comprende 51 especies y corresponde al 25.9 %.

Unidad 6. Bajadas y cerros calcáreos. Las geoformas son : cerro, pie de monte (cono de deyección y cauce de erosión) loma, bajadas superior e inferior) en los cerros la vegetación está dominada por *Hechtia glomerata*, *Agave lecheguilla*, *J. dioica*, *E. antisiphilitica*, *L. tridentata*, *Tecoma stans*, *Acacia constricta* y *Cordia parvifolia* principalmente.

Unidad 7. Mesa de Basalto. Constituida por una colada de basalto de reducidas dimensiones originada durante el pleistoceno por la actividad de los volcanes situados al este de la Reserva. La vegetación forma comunidades de *L. tridentata*, *F. splendens*, *O. rastrera*, *O. micodasys* y *A. asperrima*. En esta unidad con 25 especies, el menor número registrado, 12 son fanerófitos.

Area foliar

Al agrupar las especies considerando únicamente presencia, ausencia y tamaño de las hojas de fanerófitos, caméfitos, hemicriptófitos, terófitos y geófitos, sin incluir especies de las familias Gramineae, Cyperaceae, Cactaceae y plantas rosetifolias y parásitas, el 25.9 % de las especies son nanófilas y el 32.9 % micrófilas, los resultados se pueden ver en el cuadro 4. Los porcentajes tan elevados de plantas micrófilas y nanófilas son característicos de las zonas áridas.

CUADRO 4
TOTAL DE ESPECIES CONSIDERANDO PRESENCIA, AUSENCIA Y TAMAÑO DE HOJAS

Grupos	Area en cm ²	Total de especies	%
hojas en F., C., H., T. y G.			
áfila	--	5	1.6
nanófila	1	81	25.9
micrófila	1 a 5	103	32.9
mesófila	5	19	6.1
Gramíneas		62	19.8
Ciperáceas		3	1.0
Cactáceas		30	9.6
Rosetifolias		8	2.5
Parásitas		2	0.6

Tipos bio-morfológicos

Los tipos biomorfológicos resultan de la combinación del biológico y morfológico. Los tipos morfológicos se basan en la forma de crecimiento de las gramíneas considerando : A. número y disposición de los tallos; B. las formas de ramificación de los tallos, C. la distribución del follaje, y D. la ocupación de la superficie del suelo (Descoing, 1975).

Al clasificar las gramíneas y ciperáceas se obtuvieron los resultados que se presentan en el cuadro 5; cabe hacer notar que el 50 % de las especies son del tipo amacollado y de éstas el grupo con mayor número de especies es el amacollado caulifolio.

Todas las especies anuales son del tipo uniculmo, siendo los grupos uniculmo caulifolio, muy poco ramificado en la base sin la formación de corona, y el uniculmo basifolio, los mejor representados con 10 especies cada uno.

CUADRO 5
 NUMERO DE ESPECIES DE LOS TIPOS BIOMORFOLOGICOS DE GRAMINEAS
 (62 ESPECIES) Y CYPERACEAS (3 ESPECIES)

Tipo Biomorfológico	Número de especies
H-Ac	15
H - Aca	9
H - Ab	8
H - Ec	1
H - Eb	2
H - Rb	2
H - Rc	1
H - Uc	3
	41
T - Uc	2
T - Uca	2
T - Ucr	10
T - Ub	10
	24
Total	65

Conclusiones

Las cuatro familias mejor representados en la Reserva son : Gramineae, Compositae, Cactaceae y Leguminosae. Rzedowski (1972) cita que en los matorrales xerófitos la familia Compositae está por lo general muy bien representada. Las Cactaceae están representadas por una amplia diversidad de taxa; las Leguminosae y Gramineae también son familias cuantitativamente importantes (Rzedowski, 1978).

Los 45 tipos de vida que se encontraron ilustran las diversas adaptaciones de las especies a las condiciones áridas. La tercera parte de las especies enlistadas son micrófilas (32.9 %), seguido por las nanófilas (25.9 %) y si consideramos a las gramíneas como micrófilas el valor asciende a 52.7 %. El total de especies mesófilas es muy bajo (6.1 %).

El total de especies en las unidades se puede atribuir a la geomorfología, variedad en los tipos de suelo y extensión. El número mayor de especies se registró en la unidad V, que además de ser la más extensa presenta mayor diversidad de geoformas, en esta unidad tenemos un gradiente que va desde

el cerro a la playa, las bajadas son de gran extensión. En la unidad VI tenemos las mismas geofformas, siendo la bajada inferior de poca extensión y en algunas áreas no se observa. En ambas unidades en la bajada superior se registró mayor número de especies, aquí se concentran especies de cerro y bajada inferior así como propias de la bajada superior. En la unidad VII, se registró el número menor de especies, que además de ser la más pequeña está constituida únicamente por una colada de basalto y el suelo es somero. En cuanto a las playas, los suelos son profundos y arcillosos, y además existe un gradiente de salinidad que aumenta de sur a norte, limitando el establecimiento de las especies. Las geófitas, a pesar de ser un grupo muy pequeño, se encontraron especies en todas las unidades.

Aunque se trata de un inventario realizado en un medio árido, con un promedio de precipitación anual de 256 mm (Cornet, 1986), existe amplia diversidad de especies y adaptaciones a ese medio.

Literatura citada

- Breimer, R. 1985. Soil and Landscape Survey of the Mapimi Biosphere Reserve. Durango México. UNESCO-MAB-Instituto de Ecología, México.
- Ellenberg, H. and D. Müller-Dombois, 1967. A key to Raunkiaer plant life form with revised subdivisions. Ber. Geob. Inst. ETH., St. Ftg. Rubel, Surich, 37: 56-73. *In*: Müller-Dombois, Ecology. John Wiley Sons, Inc. New York.
- Descoing, B. M. 1975. Les types morphologiques et biomorphologiques des espèces graminoides dans las formations herbeuses tropicales, *Naturalia Monpeliensia. Ser. Bot. Fac.* 25, Francia.
- Flores Mata, G., J. Jiménez López, E. Madrigal Sánchez, F. Moncayo Ruiz y F. Takaki. 1971. Memorias del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaria de Recursos Hidráulicos, México, D.F.
- González, B., J.L. 1986. Estudio de la repartición de la salinidad en una zona baja (playa) de una cuenca endorréica en el desierto de Chihuahua. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L.
- Montaña, C. y R.F. Breimer. 1981. Vegetación y ambiente de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (Durango). Actas del VIII Congreso Mexicano de Botánica. Morelia, Mich.
- Müller-Dombois, D. y H. Ellenber. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley Sons, Inc. New York.
- Ruiz de Esparza, V. R. 1986. Inventario de los Recursos Florísticos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, Jal.

Rzedowski, J. 1972. Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México, III. Algunas tendencias en la distribución geográfica de las Compositae mexicanas. *Ciencia, Mex.* 27 : 123-132.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa, México, D.F.

CONTRIBUTION DE DONNEES SATELLITE SPOT A LA TYPOLOGIE ET A LA CLASSIFICATION DES FORMATIONS VEGETALES D'INTERET FOURRAGER DANS LA ZONE NORD ARIDE DU MEXIQUE

Antoine Cornet

Introduction

Les études d'inventaire (Breimer 1985, Montaña 1987) ont permis de définir et de cartographier à partir de travaux de terrain les grandes unités de géomorphologie et de végétation et d'identifier les principales formations d'intérêt fourrager. Par ailleurs des études stationnelles ont permis de suivre la dynamique de ces groupements et les cycles de production de biomasse. L'objectif de notre étude est de relier les caractéristiques radiométriques des vues Spot à des caractéristiques de végétation mesurées sur le terrain pour des sites test, afin de répondre à deux questions principales :

- Quels sont les paramètres mesurés sur une végétation hétérogène de zone aride, à différentes dates, qui sont les mieux corrélés aux caractéristiques radiométriques des images?

- Peut-on à partir des données radiométriques et des mesures de terrain sur sites test établir une typologie des groupements à intérêt fourrager liée à leur niveau de productivité et cartographier la biomasse herbacée présente?

Données et Méthodes

Les données sont constituées d'un échantillon de 17 parcelles décrites par des caractéristiques de milieu et de végétation relevées in situ et par des caractéristiques radiométriques extraites des images SPOT. Les données de terrain concernent les états de surface des sols (pourcentages de sol nu, de croûte, bioderme...) et les paramètres caractérisant la couverture végétale (liste floristique, couverture herbacée, ligneuse, ... biovolume, biomasse). Les mesures effectuées portent sur des relevés de 1 ha situés dans des zones représentatives plus vastes.

Après localisation des sites test sur l'image, les données radiométriques des différents pixels représentant chaque parcelle sont extraites : moyenne et variance des valeurs de réflectance dans chaque canal SPOT X_1 , X_2 et X_3 . La réflectance de la végétation en milieu naturel est le résultat de nombreux facteurs, cependant, les caractéristiques essentielles dépendent, d'une part, de la biomasse verte active, d'autre part, de la rugosité de surface liée à la structure et à la quantité de végétation, qui réduit la réflectance sur l'ensemble des canaux (Maxwell 1983). On a donc calculé sur les données radiométriques : l'indice de végétation normalisé (IVN) et l'indice de brillance (IB).

L'analyse des données a comporté différentes étapes suivant une démarche progressive : (1) Classification des sites test en fonction des caractéristiques de terrain reconstruites, au moyen d'une analyse en composantes principales (ACP) pour chaque date et multodate afin de faire apparaître le regroupement des sites et la stabilité de ces regroupements dans le temps. On cherche à connaître l'existence de relations entre sites et variables pour voir s'il existe un mode ordonné de répartition de sites. (2) Etude des relations entre sites test, variables de terrain et caractéristiques radiométriques pour mettre en évidence les relations entre les variables relatives à la description de la végétation et les grandeurs radiométriques. (3) Expression par des régressions des liaisons entre certaines variables radiométriques et des caractéristiques de la végétation. L'information relative au couvert végétal peut être corrélée quantitativement aux caractéristiques radiométriques ou à leur combinaison en indices de végétation ou de brillance. On créera ainsi des néocanaux à partir du calcul des régressions représentant des caractéristiques du couvert végétal : recouvrement de la végétation, biomasse herbacée, dont on pourra ensuite cartographier la répartition.

Résultats

Analyse en composantes principales des données de terrain pour les sites test

Pour la date de mai, on constate une assez forte corrélation entre les variables. Sol nu (SN) et couverture totale de la végétation (CTV) correspondent à une même donnée $CTV = 1 - SN$. CTV est corrélé avec le recouvrement de la strate herbacée (RSH); les variables relatives à la strate herbacée, recouvrement et biomasse, sont corrélées entre elles. Le recouvrement de la strate ligneuse (RSL) est corrélé essentiellement avec le biovolume total (BVT) auquel il contribue pour une forte part. Le

recouvrement des annuelles est peu corrélé avec les autres variables décrivant la végétation.

Les trois premiers axes de l'analyse expliquent 87 % de la variance. L'axe 1 classe les sites en fonction décroissante du recouvrement total de la végétation. L'axe 2 classe les sites en fonction du recouvrement de la strate ligneuse, individualisant bien les sites à recouvrement ligneux dominant (Formations ligneuses basses). Sur l'axe 3, s'opposent d'une part la présence de bioderme (BD) et d'autre part l'abondance d'annuelles.

La projection des sites sur le plan des axes 1 et 2 (Fig. 1) permet le classement en 6 groupes à partir des variables de terrain.

L'analyse multidade montre la même corrélation entre les variables que pour mai. La projection des sites sur le plan des axes 1 et 2 montre un classement des stations en fonction de la couverture totale et du recouvrement herbacé suivant l'axe 1 et l'individualisation sur l'axe 2 des sites à couverture ligneuse importante. L'ordre des stations suivant l'axe 1 est modifié par rapport à mai, avec déplacement vers les recouvrements plus élevés. Le déplacement est différent selon les sites, par exemple 11A (zone dénudée des arcs de végétation) et 10 (zone dénudée de la *vega*) varient peu, alors que 15B (zone dégradée de *Hilaria* de *playa*) voit son recouvrement augmenter de manière importante à cause de la présence d'annuelles. L'axe 3 traduit essentiellement la présence d'annuelles. Excepté pour le groupe 3 (sites 1 et 3) dont le recouvrement a beaucoup évolué, le classement des groupes obtenu par l'analyse des données de mai est conservé. L'étude de l'analyse aux différentes dates permet de faire un classement typologique des stations à partir des données de terrain observées :

- 1) Formations ligneuses basses à faible strate herbacé : sites 2, 6, et 9.
- 2) Formations à très faible couverture végétale : sites 10, 11A, et 15B.
- 3) Formations herbeuses peu denses à *Hilaria* de *playa*, et à fort développement d'annuelles en saison humide : sites 1 et 3.
- 4) Formations herbeuses à *Hilaria* et *Sporobolus* : sites 12, 4B, 8, et 15A.
- 5) Formations herbeuses denses à *Hilaria* ou *Sporobolus* : sites 4A, 7, et 13A.
- 6) Formations herbacées à ligneux bas et ligneux hauts des arcs de végétation : site 11B.

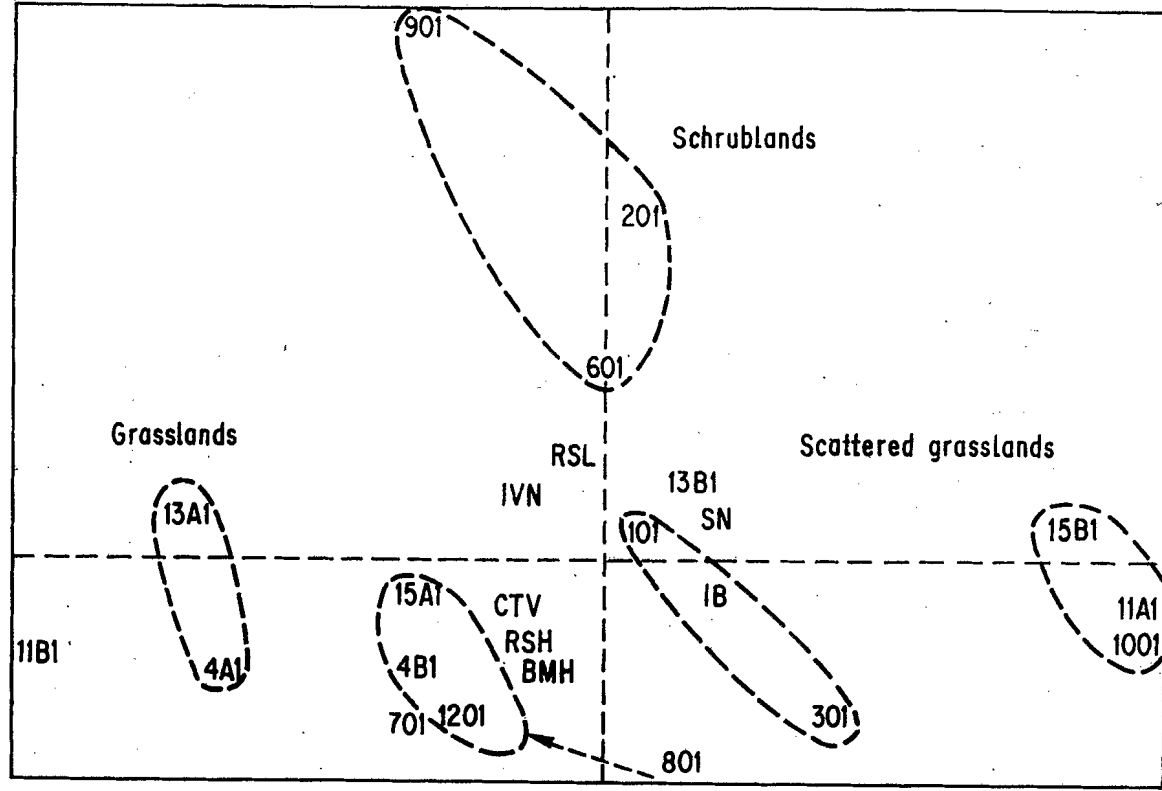


Fig. 1. Analyse en composantes principales des données de terrain pour maïs; projection des sites sur le plan des axes 1 et 2.

Le site 13B, formation herbeuse à *Sporobolus* surpâturée, est intermédiaire entre le groupe 2 et le groupe 3.

Analyse des corrélations entre variables radiométriques et variables de terrain

Les analyses précédentes ont montré la forte corrélation des variables radiométriques entre elles et d'un certain nombre de variables de terrain entre elles, ce qui permet de réduire le nombre de variables à considérer. Le tableau 1 montre la valeur des coefficients de corrélation entre variables radiométriques et variables de terrain pour mai.

TABLEAU 1
VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE VARIABLES
RADIOMETRIQUES ET VARIABLES DE TERRAIN POUR MAI ET POUR
L'ENSEMBLE DES SITES

	CTV	RSL	RSH	RA	BMH	BMHV	BVT
IB	- .69 **	NS	-.56*	NS	-.49*	-.47 *	-.65 *
IVN	+ .49 *	+ .53 *	NS	NS	NS	NS(.38)	+ .72 **

Pour un nombre de 17 valeurs les seuils de signification sont de :
0.575 pour $P < 0.01$ (**) et de 0.455 pour $P < 0.05$ (*).

Les plus fortes corrélations sont :

- entre Biovolume et Indice de végétation, en raison du fait que seuls les ligneux sont actifs en Mai et qu'ils contribuent pour une part importante au Biovolume (RSL est également corrélé à IVN).

- entre Couverture totale de la végétation et Indice de brillance. En effet, la couverture totale de la végétation toutes catégories confondues (verte et sèche), joue comme facteur de rugosité diminuant la réflectance (BVT est corrélé aussi avec IB).

A noter que la corrélation entre Biomasse herbacée verte (BMHV) et Indice de végétation n'est pas significative, ce qui peut s'expliquer par la prédominance des ligneux actifs et par l'occultation de la BMHV par la matière sèche accumulée en saison sèche.

Etant donné la forte individualisation des groupements ligneux et la

possibilité de les distinguer sur la classification de l'image, nous les avons retirés de l'analyse. Le tableau 2 donne les valeurs des coefficients de corrélation entre variables radiométriques et variables de terrain pour les sites à strate herbacée dominante.

TABLEAU 2
VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE VARIABLES
RADIOMETRIQUES ET VARIABLES DE TERRAIN POUR LES SITES A STRATE
HERBACEE DOMINANTE ET POUR LA DATE DE MAI

	CTV	RSL	RSH	RA	BMH	BMHV	BVT
IB	- .81**	NS	- .82**	NS	- .76**	- .69**	- .62 *
IVN	+ .67**	NS	+ .67**	NS	+ .58*	+ .69**	+ .67 **

Pour 14 valeurs les seuils de signification sont :
de 0.683, $P < 0.01$ (**) et de 0.497, $p < 0.05$ (*).

Les plus fortes corrélations sont :

- entre Indice de Brillance (IB) et Couverture totale de la végétation et RSH. Il s'agit de l'effet de la rugosité de la végétation sur la réflectance.
- entre Indice de végétation et Biomasse herbacée verte correspondant bien à la signification de cet indice.

Cependant la biomasse herbacée constituée en grande partie par de la végétation latente plus ou moins desséchée est plus corrélée à l'Indice de Brillance qu'à l'Indice de végétation.

Le tableau 3 donne la valeur des coefficients de corrélation entre variables radiométriques et variables de terrain pour les sites à strate herbacée dominante, pour les données de septembre.

TABLEAU 3
VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE VARIABLES
RADIOMETRIQUES ET VARIABLES DE TERRAIN POUR LES SITES A STRATE
HERBACEE DOMINANTE, POUR LES DONNEES DE SEPTEMBRE

	CTV	RSL	RSH	RA	BMH	BMHV	BVT
IB	- .81**	NS	- .81**	NS	- .81**	- .81**	- .71**
IVN	+ .68**	+ .54*	+ .67**	NS	+ .64**	+ .69**	+ .70**

Pour 14 valeurs les seuils de signification sont :
de 0.683, $P < 0.01$ (**) et de 0.497, $P < 0.05$ (*).

Sauf avec RA et RSL, ces corrélations sont élevées et significatives ($P < 0.01$). On note que les plus fortes corrélations sont obtenues entre l'indice de brillance (IB) et les variables de végétation. Cependant, les corrélations entre IVN et ces variables sont aussi significatives. Dans ce cas, l'activité photosynthétique de la plupart des végétaux intervient sur les composantes radiométriques bien que l'effet de la couverture de la végétation sur la réflectance globale reste important.

Etablissement des relations entre les caractéristiques radiométriques des sites test sur l'image SPOT et les descripteurs de la végétation

Le but est d'établir des relations quantitatives permettant à partir des valeurs radiométriques de calculer certaines caractéristiques du couvert végétal et de les représenter cartographiquement.

Ainsi pour l'ensemble des sites, la couverture totale de la végétation en saison sèche est estimée par la relation :

$$\text{CTV} = - 0,397 \text{ IB} - 3,043 \text{ IVN} + 556,175$$

avec $R = 0,710$ $F_c = 7,108^{**}$

Pour la biomasse herbacée en ne considérant que les formations herbeuses, nous avons la relation :

$$\text{BMH} = - 7,830 \text{ IVN} - 1,525 \text{ IB} + 1646,978$$

$r^2 = 0,767$ $F_c = 7,889^{**}$

dans laquelle BMH est la biomasse herbacée totale en g de MS.m².

Pour la période humide (septembre) la relation est :

$$\text{BMH} = - 1,652 \text{ IVN} - 2,353 \text{ IB} + 985,312$$

$r^2 = 0,812$ $F_c = 10,680^{**}$

A partir de cette relation, on a calculé pour l'ensemble des pixels de l'image les valeurs de biomasse herbacée. Un masque réalisé à partir de la classification a permis d'extraire les formations herbeuses pour lesquelles cette relation est applicable. Un seuillage sur l'écran suivi d'une validation sur le terrain ont permis de déterminer six classes de valeur de biomasse pour chaque date et de les cartographier automatiquement.

Les figures 2 et 3 montrent les résultats de cette cartographie pour une partie de l'image et respectivement pour les dates de mai et septembre.

FIGURE 2 Carte de répartition de la biomasse obtenue à partir des données radiométriques de Mai

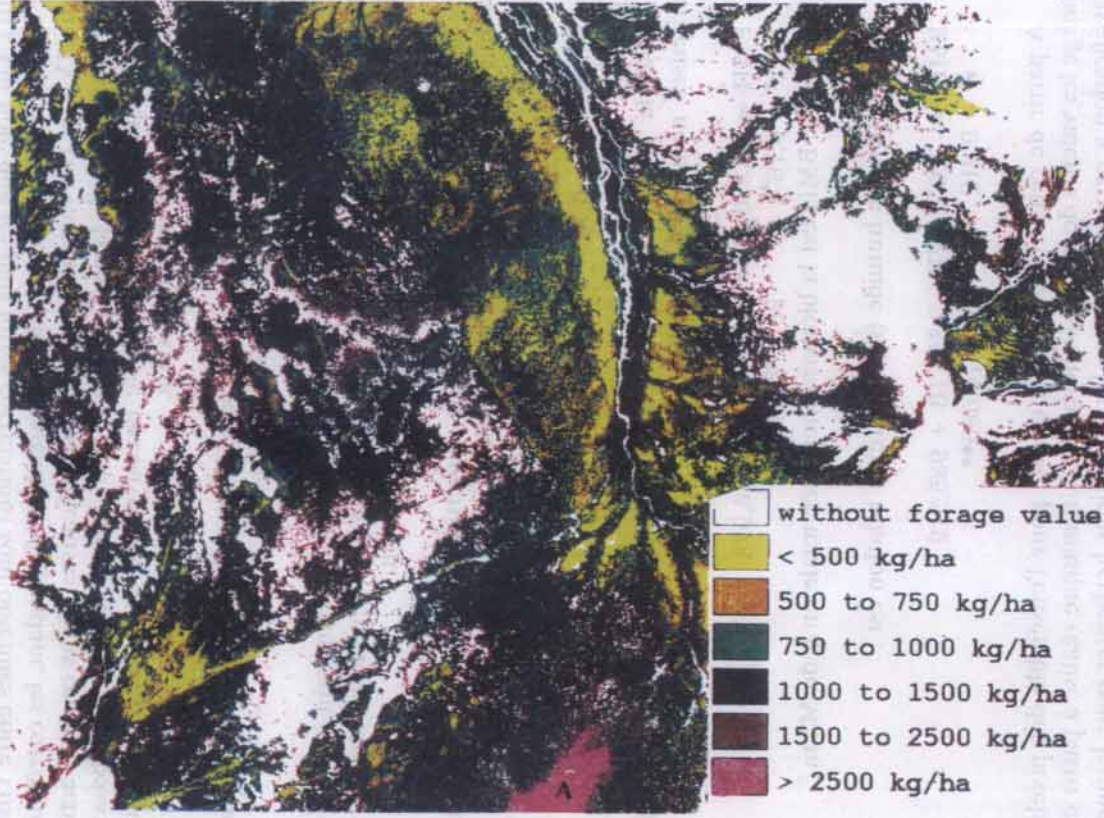


Fig. 2. Carte de répartition de la biomasse obtenue à partir des données radiométriques de mai.

FIGURE 3 Carte de répartition de la biomasse obtenue a partir des données radiométriques de Septembre

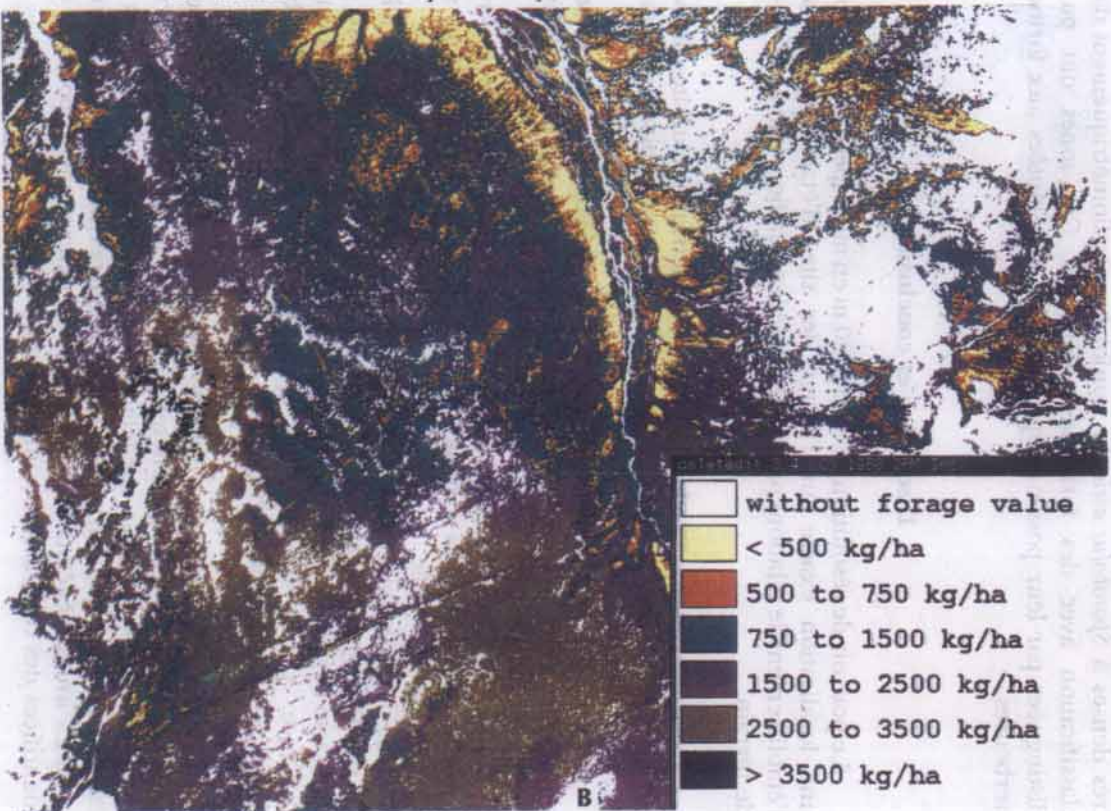


Fig. 3. Carte de répartition de la biomasse obtenue à partir des données radiométriques de septembre.

La classe n° 6 (zone A et B de la figure) correspond à des formations très denses à *Sporobolus airoides*, confondues radiométriquement dans la classification avec des formations ligneuses. Ces zones ont pu être distinguées par leur position topographique et rajoutées aux formations herbeuses.

Discussion et conclusion

Le pouvoir de résolution de SPOT (20 m en multispectral) rend possible une localisation exacte sur l'image des sites d'étalonnage au sol et l'établissement de relations précises entre valeurs radiométriques et données de terrain.

La comparaison entre les données radiométriques extraites des scènes SPOT et les valeurs de recouvrement et de quantité de biomasse mesurées *in situ* montrent :

- que pour la saison sèche, l'indice de végétation n'est pas corrélé significativement ni avec la couverture totale de la végétation, ni avec la biomasse totale ou la biomasse verte.
- que l'indice de brillance est corrélé de manière significative avec la couverture totale de la végétation. Cette dernière jouant surtout sur la rugosité de la surface.
- qu'il est possible, même en saison sèche, après classification de l'image et stratification des zones de trouver une relation satisfaisante entre biomasse herbacée totale et la combinaison des indices de végétation et de brillance. Cette relation étant applicable aux formations herbeuses présentant un intérêt fourrager.

Les résultats recourent ceux de Mc Daniel et Hass (1982) pour des zones voisines, où ils montrent que le suivi de la production des terres de parcours est possible par télédétection à condition de procéder en deux étapes : une classification préalable de l'image permettant l'identification de grandes unités végétation-sol et ensuite la détermination pour les unités identifiées des corrélations radiométrie-biomasse.

Bibliographie

- Breimer, R. 1985. Soil and landscape survey of the Mapimi Biosphere Reserve, México, UNESCO, 128 p.

- Mc Daniel, K.C. and Hass, R.H.** 1982. Assessing Mesquite grass vegetation condition from Landsat. *Photogrametric Engineering and remote sensing* 48, 3: 441-450.
- Maxwell, E.L.** 1983. Remote monitoring of rangeland production. *Agricultural Water Management* 7: 323-340.
- Montaña, C.** 1987. Las formaciones vegetales de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. In: Montaña (ed.) *Estudio integrado de los recursos: vegetación, suelos y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí*. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.

ECOFISIOLOGIA DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE INTERES FORRAJERO

Gilles Besnard

Resumen

Este trabajo nos permite entender mejor la adaptación frente a la aridez del clima de dos gramíneas perennes de las zonas áridas del norte de México: *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides*, con la observación de la evolución de los potenciales hídricos de las plantas, de las modificaciones morfológicas de las hojas y de los tallos, y la comparación de los almacenamientos del agua del suelo y de los potenciales hídricos de las plantas.

Résumé

Ce travail a pour but de mieux comprendre la résistance à la sécheresse de deux graminées pérennes des zones arides du Nord-Mexique : *Hilaria mutica* et *Sporobolus airoides*, par l'observation de l'évolution des potentiels hydriques de la plante, des modifications morphologiques des feuilles et des tiges, et la comparaison des stocks d'eau du sol et des potentiels hydriques de la plante.

Introducción

En México, las zonas áridas, las cuales se caracterizan por registrar una precipitación inferior a 500 mm, cubren 55 % del área del país.

La mayoría de las lluvias ocurren durante el verano, cuando la insolación es más alta : así las cantidades pequeñas de agua que reciben estas zonas no son utilizables en su totalidad, una fracción importante se pierde rápidamente por evaporación.

A esto se agrega el problema de los suelos de estas zonas áridas porque muchos de ellos tienen una textura arcillosa, la cual se opone a la infiltración profunda del agua, lo que reduce la posibilidad de la constitución de un almacenamiento hídrico en el suelo, disponible y utilizable después por la vegetación.

Los recursos suelo y agua, estimados por Delhoume (1988), Cornet (1988), Montaña (1988), Breimer (1988), nos permiten estudiar cómo la vegetación utiliza estos recursos y se adapta a las adversidades impuestas por el medio. Se tuvo así que caracterizar el comportamiento ecofisiológico (evolución de los potenciales hídricos de las plantas, posibilidades de sobrevivencia durante las sequías, y su adaptación a éstas) de las principales especies vegetales de interés forrajero en la zona estudiada, es decir las plantas susceptibles de ser consumidas por el ganado, frente a las adversidades edáficas (salinidad, yeso) y de aridez (estrés hídrico, evaporación fuerte, sequía prolongada).

Zona de estudio

En la reserva de la biosfera de Mapimí, dos gramíneas perennes representan los más importantes recursos forrajeros para el ganado: *Hilaria mutica* (Buckl) Benth. y *Sporobolus airoides* (Torr) Torr. La ganadería extensiva es la actividad humana principal de esta área.

Evolución de los potenciales de sabia durante una fase de sequía

Rápidamente después de una lluvia, los potenciales máximos diarios (medidos al amanecer) de *Sporobolus* empiezan a bajar fuertemente, cuando para *Hilaria* los potenciales quedan débiles durante veinte días y hasta un mes después de estas lluvias (Fig. 1). La evolución del desecamiento es más rápida para *Sporobolus*, con una pendiente promedio de 2.5 bares/día. Para *Hilaria* la pendiente promedio es solamente de 1,3 bares/día.

Evolución comparada del potencial máximo (medido al amanecer y del potencial mínimo (medido al medio día)

La evolución comparada de estos dos potenciales se muestra en la figura 2. Esta evolución es similar para las dos especies. A pesar de los potenciales hídricos tan bajos, del suelo y de la planta, durante una sequía, estas gramíneas recogen durante la noche una gran parte del agua evaporada durante el día. Tienen, pues, un control de su potencial. Los valores máximos y mínimos de este potencial deben reflejar respectivamente la cantidad de agua disponible en el suelo y una combinación de esta agua disponible y de la demanda evaporativa del aire (Hickmann, 1970).

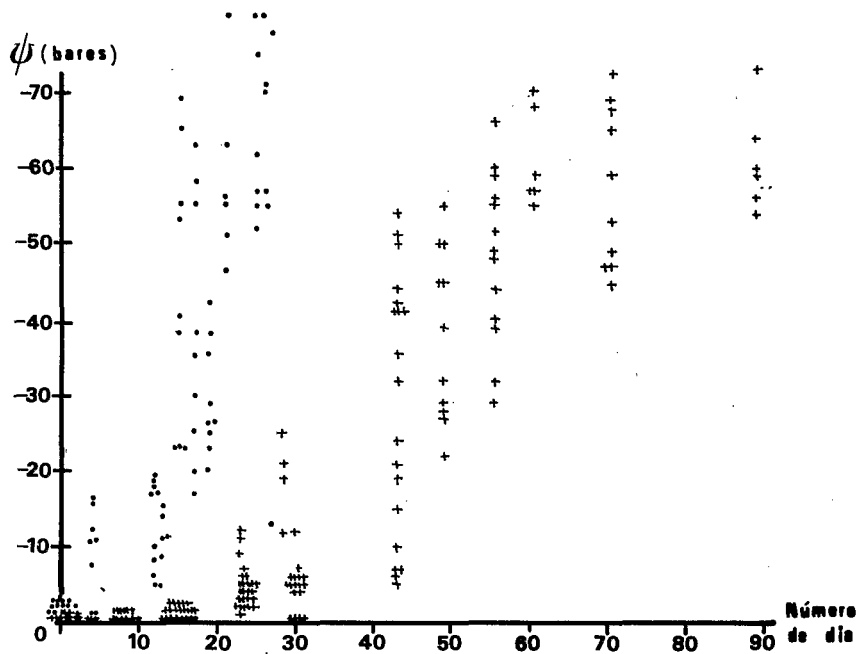


Fig. 1. Evolución de los potenciales máximos diarios en función del número de días después de una lluvia. + *Hilaria mutica* en tres estaciones diferentes de estudio, ● *Sporobolus airoides* en dos estaciones diferentes de estudio.

Observaciones morfológicas

Con la baja del potencial hídrico, se observan también modificaciones morfológicas de las plantas : disminución del diámetro de los tallos (utilización de las reservas internas en agua) y amarillamiento progresivo de las puntas de las hojas (se vuelven secas y quebradizas). Las primeras hojas en ponerse amarillas son las de la base, las más antiguas.

En cambio, después de una lluvia importante, aparecen nuevos tallos, y los ya existentes tienen de nuevo potenciales hídricos muy altos y un nuevo crecimiento : aparición de nuevas hojas y reverdecimiento de las hojas antiguas. Todo éso fue observado lo mismo para *Sporobolus* que para *Hilaria* y con potenciales inferiores a - 70 bares antes de la lluvia.

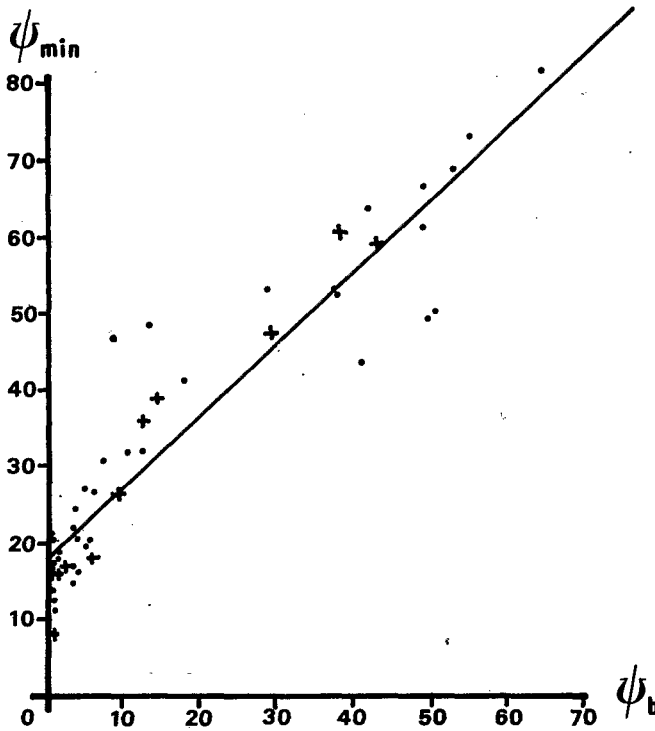


Fig. 2. Evolución comparada de los potenciales hídricos mínimos (ψ_m en bares) y de los potenciales máximos (ψ_b en bares). $\psi_m = 17.8 + 0.94 \psi_b$; + *Hilaria mutica*; ● *Sporobolus airoides*.

Comparación almacenamiento del agua en el suelo Potencial máximo de la planta

Para predecir la evolución del potencial máximo, intentamos construir un modelo que nos permitiera conocer este potencial en función del almacenamiento de agua en el suelo. Tal modelo es posible de construir, porque el potencial máximo, medido al amanecer, está en equilibrio con las condiciones hídricas del suelo. Es necesario, para estos modelos, tomar en cuenta el agua almacenada en los suelos (medida con un dispersor de neutrones) y no los volúmenes de lluvias, porque una lluvia es útil para la vegetación (es decir, lo suficientemente importante para ser almacenada en totalidad) solamente con precipitaciones superiores a 10 o 20 mm, y para lluvias más importantes, el almacenamiento es muy superior al volumen de

las lluvias, porque se hace entonces un escurrimiento superficial laminar (Delhoume, 1989).

Para las dos especies, una curva de tipo hiperbólico permite explicar muy bien las relaciones entre el almacenamiento de agua cerca de la superficie y el potencial máximo de la planta (Figs. 3 y 4). Este tipo de curva caracteriza también la relación existente entre la humedad volúmica del suelo y el potencial hídrico del agua del suelo (Fig. 5). Los dos valores de potencial (de la planta y del suelo) son unidos por un mismo tipo de relación al contenido en agua del suelo, o al almacenamiento del agua. Debe luego existir una relación estrecha, uniendo el potencial máximo al potencial hídrico del suelo. Sin embargo, no fue posible obtenerla, porque no dispusimos de medios técnicos que lo permitieran.

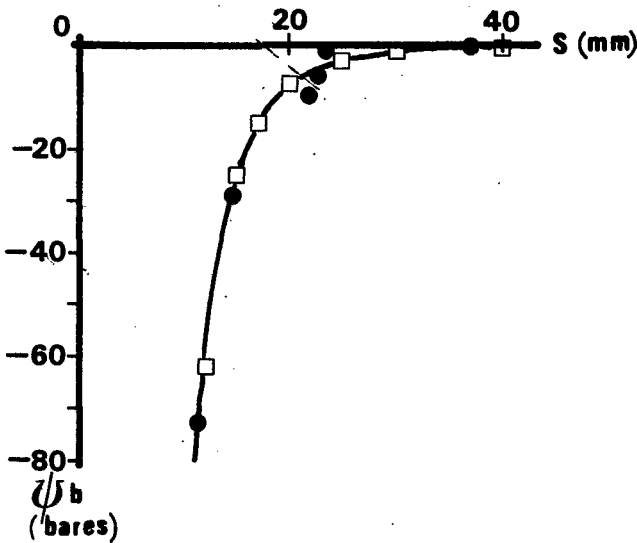


Fig. 3. Ejemplo de curva obtenida con la evolución del potencial máximo en función del almacenamiento de agua del suelo para *Sporobolus airoides*. S : Almacenamiento de 0 a 10 cm; ψ_b : Potencial máximo; ●: valores observados □: valores de la modelización

$$b = aS^b \quad (a = 1.77 \cdot 10^4; b = -4.13; r = -0.95).$$

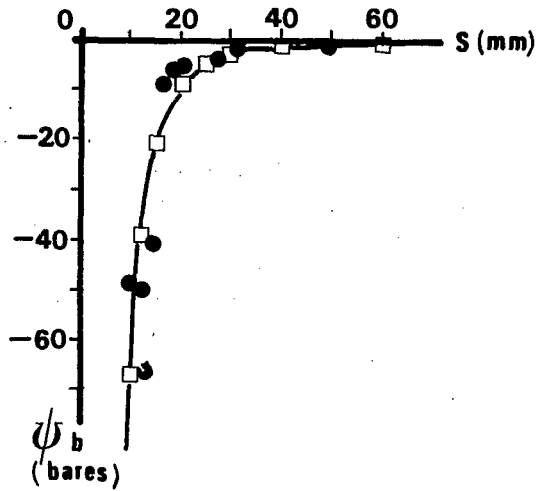


Fig. 4. Ejemplo de curva obtenida con la evolución del potencial máximo en función del almacenamiento de agua del suelo para *Hilaria mutica*. S : Almacenamiento de 0 a 20 cm;

●: Potencial máximo; ●: valores observados; □: valores de la modelización

$$b = aS^b \quad (a = 6.01 \cdot 10^4, b = -2.95, r = -0.94).$$

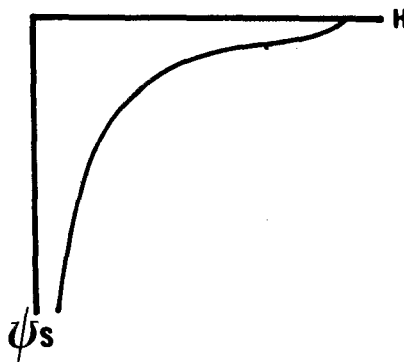


Fig. 5. Representación esquemática de la relación existente entre el potencial hídrico del suelo (ψ_s) y la humedad volúmica (H).

Conclusión

El trabajo emprendido sobre dos gramíneas perennes : *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides*, permite entender mejor su adaptación frente a la aridez del clima. Estas dos especies tienen una gran capacidad para extraer el agua del suelo, aún durante sequías importantes. Pero la economía del agua parece ser diferente para las dos especies : *Sporobolus airoides* agota el agua rápidamente; sus potenciales llegan rápidamente a valores muy bajos, al utilizar en poco tiempo el agua para tener un fuerte aumento de biomasa. Para *Hilaria mutica*, no se observa un crecimiento tan rápido; los potenciales permanecen altos durante varias semanas. Para las dos especies, durante una sequía importante, no hay entonces crecimiento observable; las hojas y los tallos entran en "latencia". Esta latencia puede durar dos o tres meses. Hasta la próxima lluvia, las hojas y los tallos reinician sus actividades fisiológicas. De esta forma, las dos especies utilizan de una manera más aprovechable las raras lluvias del verano.

Literatura citada

- Breimer, R. F. 1988. Physiographic soil survey. pp. 115-134 *In*: Montaña (Ed.), Estudio integrado de los recursos vegetación suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I Ambiente natural y humano, Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Cornet, A. 1988. Principales caractéristiques climatiques. pp. 45-76 *In*: Montaña (Ed.), Estudio integrado de los recursos vegetación suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I Ambiente natural y humano, Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Delhoume, J.P. 1988. Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative. pp. 135-165. *In*: Montaña (Ed.), Estudio integrado de los recursos vegetación suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano, Publ. 23, Instituto de Ecología, México.
- Delhoume, J.P. 1989. Dynamique et disponibilité de l'eau du sol dans un écosystème aride du nord du Mexique. *In*: L'aridité: une contrainte au développement, Réseau zones arides, (sous presse).
- Hickmann, J.C. 1970. Seasonal course of xylem sap tension. *Ecology* 51, 674-680.
- Montaña, C. 1988. Major vegetation and environments units. pp. 99-114. *In*: Montaña (Ed.), Estudio integrado de los recursos vegetación suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano, Publ. 23, Instituto de Ecología, México.

*III. UTILIZACION DE LOS RECURSOS :
ECOPASTORALISMO*

*III. UTILISATION DES RESSOURCES :
ECOPASTORALISME*

RESEÑA DEL POBLAMIENTO Y DE LA GANADERIA EN EL BOLSON DE MAPIMI

Henri Barral
Lucina Hernández

El Bolsón de Mapimí, del cual vamos a tratar aquí, carece aparentemente de límites bien definidos (Fig. 1).

En efecto, para los viajeros que en los siglos pasados se aventuraban a esta porción del desierto Chihuahuense, procedentes de México o de Durango, el Bolsón de Mapimí principiaba en la Sierra del Rosario, al sur de lo que hoy en día es la ciudad de Gómez Palacio. Así lo afirma un viajero del siglo XVIII al decir: "La Sierra del Rosario que aquí llaman Cadena, forma tres puertos que todos salen al llano occidental de Mapimí" (Morfi 1935).

Más al norte, el espacio se dilata tanto, y sobre todo la región era en ese entonces tan peligrosa que nadie la había verdaderamente recorrido ni descrito hasta la segunda mitad del siglo pasado. Los peligros con los que tenía que enfrentarse uno podían resumirse así : la falta de agua y los indios.

Curiosamente, esta región, que fue acaso la última en ser explorada en América del Norte - si se exceptúan las zonas polares-, fue en el mismo tiempo una de las más antiguamente pobladas, ya que se estima en cuando menos 9 700 años B.P. el inicio de su poblamiento (Chávez *et al*). Es así como se encontraron en algunos sitios del Bolsón de Mapimí, particularmente cerca de Cuatrociénegas, cuevas con osamentas humanas, pero también restos de vegetales (*Opuntia* sp., *Dalea* sp. y *Leucanea* sp.) y de animales (venado cola blanca, venado bura, coati, ardillas e incluso bisontes). La presencia de huesos de bisontes en este lugar puede sorprender, pero se puede explicar por un clima acaso menos seco en esa época y por ende una vegetación más abundante que en la época actual, pero tampoco se puede descartar la posibilidad de que indios nómadas hubieran traído huesos de bisontes de regiones más septentrionales como trofeos o para labrarlos posteriormente.

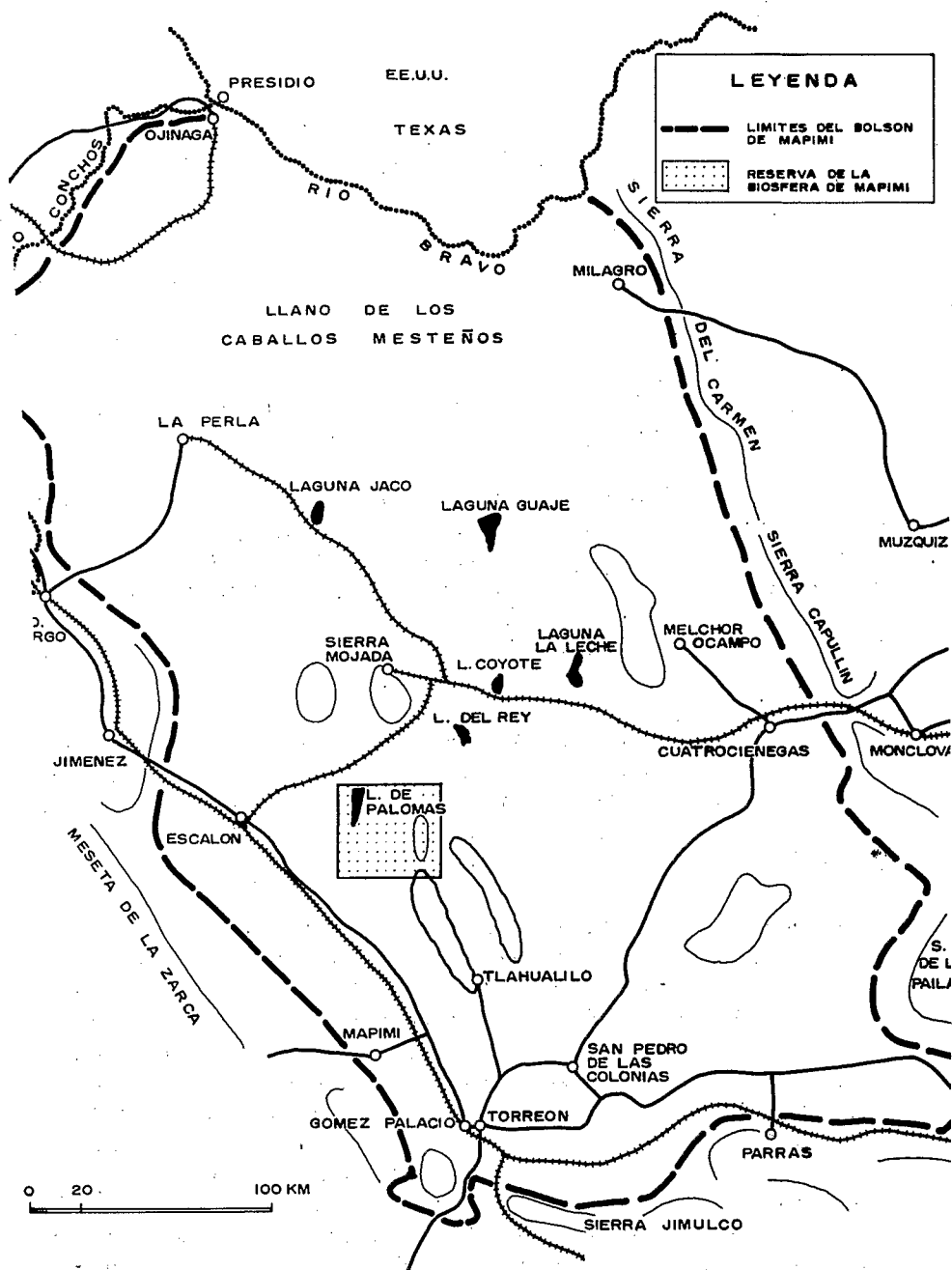


Fig. 1. Mapa del Bolsón de Mapimí.

En efecto, el nomadismo parece haber sido el género de vida practicado por los primeros moradores de estas áreas. Obviamente, no se trataba de nomadismo basado en la ganadería como fue el caso en los desiertos del Viejo Mundo, sino más probablemente relacionado con los desplazamientos de las especies animales, los que a su vez estaban condicionados a las secuencias estacionales.

De los primeros indios nómadas que ocuparon el Bolsón de Mapimí, se habla sobre todo, en la literatura, de los tobosos y de los cocoyomes, a los que se les calificó desde un principio y globalmente como "indios bárbaros". En realidad estos grupos resistieron a los españoles durante los siglos XVI y XVII, habiendo éstos intentando pacificarlos, ya sea mediante tratos políticos o por la fuerza, sobre todo en 1616, a raíz de la insurrección de los indios de Nueva Vizcaya. En 1645, ocurrió otra insurrección llamada la insurrección de las "Siete Naciones", es decir de las siete tribus que aparentemente correspondían a distintos clanes de tobosos.

La verdad es que poco se sabe de lo que finalmente sucedió con los tobosos y los cocoyomes, si fueron exterminados o si se sometieron y se mezclaron con los españoles o con otros indios traídos del centro de México, particularmente de Tlaxcala y de Michoacán, supuestamente para "civilizar a los bárbaros". Antes de desaparecer de una u otra forma, sin embargo, tuvieron el tiempo para destruir tres veces la ciudad de Mapimí, entre 1589 y el fin del siglo XVII.

En efecto, los españoles habían empezado a llegar al norte de México a partir de 1532, pero sobre todo a partir de 1550, fecha del descubrimiento de las minas de Zacatecas. Es así como fueron fundadas Saltillo en 1555, Durango en 1559, Mapimí en 1589, Parral en 1631, Monclova en 1689, Chihuahua en 1709 y Cuatrociénegas en 1761. A excepción de Cuatrociénegas, todas estas ciudades eran mineras, produciendo principalmente plata, plomo y hierro. Conjuntamente con la edificación de estas ciudades, se empezaron a formar señoríos cuyas dimensiones llegaron a alcanzar las dos terceras partes de un país como Portugal. Tal fue el caso del Mayorazgo de Aguayo, que luego fuera elevado a la dignidad de Marquesado por la Corona española. En efecto, el Marquesado de Aguayo, que fue fundado por Francisco de Urdiñola se extendió de Coahuila a Texas y abarcó una superficie de 6 millones de hectáreas (60 000 km²). Otro ejemplo de latifundio en el norte de México fue el de los Sánchez Navarro, que llegó a alcanzar una superficie de 320 000 ha en 1821. Otros latifundios alrededor de 1760 fueron los de los Garza Falcón con 182 800 ha y el de capitán José Borrego, con 282 000 ha, ambos situados al norte

y al noreste de Monclova. Al mismo tiempo, también al oeste y al suroeste del Bolsón de Mapimí se estaban formando grandes haciendas como eran la de San Juan de la Casta, fundada en 1598, y que en un principio fue predio eclesiástico, o la Hacienda de la Cadena al oeste de la ciudad de Mapimí, cuya superficie en 1777 era de 187 000 ha.

Todos estos latifundios, con sus respectivas villas y haciendas, habían llegado a formar una especie de línea de fortificaciones que circundaba al este, sur y oeste el Bolsón de Mapimí, permaneciendo este último impenetrable por el temor que seguían infundiendo los indios bárbaros.

El ganado bovino, y también el ganado lanar, habían llegado a México desde 1521, pero fue entre 1542 y 1545 cuando se introdujo a gran escala en el norte de México. Como suele ser el caso cada vez que se introducen especies animales nuevas en medios que les brindan posibilidad de desarrollo "ilimitadas", al presentar una oferta alimenticia muy superior a la demanda y una ausencia de competencia, el ganado tanto vacuno como lanar, empezó a proliferar en todo México, lo que provocó primero que se crearan leyes para reducir la población a través de "jueces de matanza" y, posteriormente, que se iniciara una migración de la ganadería hacia las áreas desérticas del norte. Fue entonces cuando los animales, ante la escasez de pasto y de agua, emprendieron grandes transhumancias y penetraron incluso en el Bolsón de Mapimí, conformando grandes "mesteñadas" o sea rebaños de animales "mesteños" o cimarrones.

Según Morfi (1935), no solo había "mesteñadas" de ganado vacuno, sino también de caballos, las que pudieron haber alcanzado, hacia 1777, un millón de cabezas en las llanuras del Bolsón de Mapimí y de Texas.

Mientras tanto, todas las haciendas del norte de México, se dedicaban prioritariamente a la cría de ovejas a gran escala, debido a la gran demanda de lana en esa época, y también por la resistencia de este tipo de ganado a la sequía. El Marquesado de Aguayo, por ejemplo, tenía en 1760 entre 200 y 300 mil cabezas de ovejas, y los Sánchez Navarro unas 85 000 en 1792.

¿Cuál puede haber sido en esta época el impacto de este ganado, tanto vacuno como caballar y lanar sobre los ecosistemas del Bolsón de Mapimí?. Si es cierto que la mayor parte del ganado lanar controlado no pastaba en el Bolsón por el peligro constante que representaban los indios -sólo lo hacía el ganado de la Hacienda de San Juan de la Casta, o sea unas 30 000 ovejas- en cambio, los animales "mesteños" que abundaban deben haber inducido procesos de transformación en la vegetación. Desgraciadamente,

carecemos de información que pudiera permitir una evaluación, aunque fuera en forma grosera, de la cantidad de animales que realmente existieron y de las áreas que utilizaron preferencialmente. Aparentemente, la densidad de animales empezó a disminuir debido a epizootias a partir de 1788, lo que puede haber constituido un proceso natural de reajuste a las capacidades de regeneración del medio.

Pero el principal factor limitante a la ganadería desde un principio fueron los ataques de los indios. De acuerdo con Harris (1975): "desde un principio, un puñado de españoles tuvieron que defender sus propiedades contra los ataques constantes de indios hostiles, principalmente Apaches, que casi destruyeron Monclova en 1721. El Bolsón de Mapimí representó el peligro más grande en este contexto, puesto que era guarida exclusiva de los indios".

Los relatos de los ataques de los Apaches en Coahuila, tanto a las haciendas del Marquesado de Aguyao como a las de los Sánchez Navarro, durante los siglos XVII y XVIII, son innumerables. Sin embargo, los apaches solían saquear preferencialmente las haciendas del Marquesado de Aguyao por tener ganado caballar, pero también se llevaban o masacraban las ovejas e incluso muchas veces a los pastores, como sucedió a menudo en las haciendas de los Sánchez Navarro, en el sector de Cuatrociénegas. Al mismo tiempo, en la parte suroeste del Bolsón de Mapimí, perteneciente al estado de Durango, los apaches se dedicaban también a saquear las haciendas, como fue el caso de la Hacienda de Jacalco, cerca de Mapimí, y de los ranchos La Esperanza y la Muerte en el mismo sector, quedando estos últimos totalmente despoblados en 1777.

Las tribus apaches más temidas eran la de los mezcaleros y la de los lipanes. Los españoles intentaron aprovecharse de ciertas rivalidades entre estas dos tribus durante un tiempo contrataron una alianza con los mezcaleros, dirigida contra los lipanes. Sin embargo, durante el invierno de 1781-1872, Patule el Grande, un jefe mezcalero con otros siete jefes de clanes, salieron del Bolsón de Mapimí y atacaron a varios pueblos de Coahuila, entre otros Parras, matando 80 personas y llevándose muchos caballos (Harris *op. cit.*) El gobernador de Coahuila, General Ugalde, los persiguió en el Bolsón de Mapimí, matando a cinco jefes y a muchos guerreros y recuperando 500 caballos; además liberó a seis españoles cautivos.

Esta campaña fue muy probablemente la primera expedición efectuada por los españoles dentro del Bolsón de Mapimí. Cinco años después, en

1787, el mismo gobernador Ugalde lanzó otras expediciones contra los apaches mezcaleros en el Bolsón de Mapimí, primero en la Sierra del Chizo y luego en la Sierra de Mohóvano. Esta es la primer mención que encontramos en la literatura, de un lugar al que podemos identificar con toda certeza dentro de los límites de lo que hoy es la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

Finalmente, los apaches mezcaleros retrocedieron hasta más allá del río Bravo, pero entonces fueron los apaches del río Gila quienes penetraron en el Bolsón de Mapimí por el noroeste a partir de 1790 y quienes, conjuntamente con los apaches lipanes, se dedicaron a saquear las villas y las haciendas que circundaban el Bolsón.

En realidad, las persecuciones a "los indios bárbaros" efectuadas entre 1781 y 1787 por el gobernador Ugalde dentro del Bolsón de Mapimí, revistieron un carácter más bien excepcional puesto que, la mayoría del tiempo, los medios de defensa eran totalmente insuficientes. No sólo había pocos soldados, sino que carecían de pólvora. Por ejemplo, la guarnición de Monclova se quedó sin pólvora durante tres años, de 1767 a 1770! y en cuanto a los ciudadanos, carecían completamente de armas (Harris *op. cit.*). Pero sobre todo la población española o mestiza, en este fin del siglo XVIII, era todavía insignificante. En 1767, por ejemplo, Nicolás de Lafora, quien era un ingeniero militar que realizó un viaje de inspección a Coahuila, evaluó la población total del estado en poco menos de 8 000 habitantes (¡sin contar con los apaches!), mientras que en 1790 toda el área poblada entre el río Conchos, al norte, y la ciudad de Cuencamé, al sur, no pasaba de los 40 144 habitantes más unos 953 "indios gentiles". De hecho, en la víspera del siglo XIX, la población total de las área aledañas al Bolsón de Mapimí no debía superar las 50 000 personas.

Las condiciones climáticas y más aún la amenaza permanente por los indios bárbaros seguía constituyendo el principal factor limitante a la expansión demográfica en el norte de México y esta amenaza se concentraba en el Bolsón de Mapimí.

"Todos los ranchos y haciendas de Chihuahua y Durango están rodeados por una alta pared flanqueada en las esquinas por bastiones circulares con apertura para disparar.....". El que escribió estas líneas en 1846 era un viajero inglés llamado George F. Ruxton quien viajó desde México hasta Estados Unidos y al llegar a Mapimí añade : " la población que varía entre 2 y 3 000 vive constantemente aterrorizada por los indios que suelen llegar al pueblo para llevarse las mulas... Entre Mapimí y

Chihuahua hay un gran techo despoblado llamado La Travesía, allí hay algunas villas y ranchos en ruinas donde los indios descansan durante sus incursiones". O sea que, 60 años después de las expediciones militares de Ugalde contra los apaches en el Bolsón de Mapimí, la situación no había mejorado nada, lo que es más, había empeorado. En efecto, a partir de 1836 otras tribus de indios todavía más peligrosos que los apaches, por ser más móviles, empezaron a penetrar en el Bolsón de Mapimí procedentes de las praderas del río Pecos en Texas. Estos eran los comanches que durante 30 años arrasaban con todas las haciendas de la periferia del Bolsón, ie incluso tendrían la osadía de "desfilar" a caballo en agosto de 1847, en un grupo de 200 guerreros, por las calles de la ciudad de Durango! (Harris *op. cit.*).

La penetración de los comanches en el Bolsón de Mapimí se explica por la presión a la que estuvieron sometidos en Texas, a partir de 1836, a raíz de que colonos norteamericanos invadieron sus territorios.

Aparentemente, durante varios años, los comanches realizaron sus correrías a través del territorio mexicano, al que penetraban por el Bolsón de Mapimí, -y que alguna vez los llevaron hasta las cercanías de San Luis Potosí- en los meses de septiembre y octubre, al finalizarse la estación lluviosa, cuando tenían la seguridad de encontrar agujajes en los arroyos del desierto a lo largo de su recorrido.

Ruxton (1847) escribe al respecto : "pero los más formidables enemigos, los más temidos por los habitantes de Durango y Chihuahua son los guerreros comanches, que varias veces al año organizan expediciones para internarse en el país... Estas expediciones tienen tanta regularidad que en el calendario comanche el mes de septiembre es conocido como "mes de México", igual que otros meses son designados "temporada del búfalo", "del maíz", etc. Los habitantes están incapacitados para resistir, ya que la política del gobierno ha sido mantenerlos desarmados.

Sin embargo, unos pocos años después, los comanches se aferraron al Bolsón de Mapimí, a tal punto que en lugar de regresar a Texas durante la temporada invernal, preferían quedarse en las cercanías de la laguna de Jaco, en el centro del Bolsón.

En 1851, más de 3000 comanches y apaches lipanes invadieron Coahuila. Uno de los hermanos Sánchez Navarro relató : "La Hacienda de Hermanas se ha convertido en un verdadero hospital... Los pastores abandonan sus rebaños de ovejas y hasta a sus propias familias". Ese mismo año, el gobierno del estado de Coahuila decidió emprender una campaña

militar contra ese baluarte de indios hostiles, que seguía siendo más que nunca el Bolsón de Mapimí.

Una campaña militar se llevó a cabo, pero los resultados fueron escasos : las tribus mantuvieron firmemente su control sobre el Bolsón... " (Harris 1975). Esta situación había de empeorar hasta aproximadamente 1865.

A partir de esta fecha, los ataques de los comanches y de los apaches empezaron a enrarecer, ya que aparentemente se les había otorgado reservas en los Estados Unidos, las mismas que lógicamente tenían que ocupar para oponerse a cualesquiera invasiones eventuales. Sin embargo, en 1874 el gobernador del estado de Coahuila menciona nuevos ataques de indios en su informe dirigido al tercer Congreso Constitucional del estado, en el que apunta primero : "Hacia mucho tiempo que los pueblos fronterizos del estado no sufrían la calamidad de los indios bárbaros". Como motivos de esta tregua menciona el hecho de que "estos se habían retirado a sus reservas de Estados Unidos", pero también la presencia de la tribu Kikapoo en el territorio mexicano, la que aparentemente era enemiga de los comanches y jugaba un papel disuasivo. Luego añade : "pero desde que esta tribu fue llevada en parte a su reserva de los Estados Unidos y en parte se trasladó al estado de Durango, las correrías de indios comenzaron de nuevo causando de nuevo inmensos males a los pueblos que han sufrido la muerte de algunos ciudadanos y el robo de grandes cantidades de animales. Estas correrías han sido hechas por indios comanches y kiowas procedentes del territorio de Estados Unidos y otros por lipanes y mezcaleros, cuyas tribus viven en paz en el punto de San Carlos del Estado de Chihuahua". Y para terminar, el mismo gobernador de Coahuila menciona "la expedición que hizo hacia el desierto el presidente del ayuntamiento de Múzquiz, ciudadano Tirso Castellón, con vecinos que los acompañaron voluntariamente, y aunque no obtuvieron resultados, estos patrióticos esfuerzos siempre son dignos de todo elogio".

Finalmente, no fue sino después de 1880 cuando se acabaron las correrías de indios en el Bolsón de Mapimí, mientras que la última incursión de apaches en el estado de Chihuahua tuvo lugar en 1886, después de la captura de Gerónimo en Sonora.

El balance económico era con toda seguridad desastroso y se traducía por el traslado de una buena parte de la riqueza ganadera del norte de México hacia los Estados Unidos, a través de los robos de los apaches y de los comanches, algunos encabezados, incluso, por oficiales norteamericanos,

según el historiador Víctor Orozco de la Universidad de Chihuahua.

Llegando a este punto, es decir apenas 100 años atrás, se puede afirmar que el Bolsón de Mapimí no había tenido todavía ninguna población permanente, ni tampoco había sido objeto de aprovechamiento sistemático, ya fuese a través de la ganadería o de la explotación de otro tipo de recursos, renovables o no renovables.

La pregunta que surge de inmediato es ¿a partir de cuándo y bajo qué condiciones empezó el proceso de poblamiento de esta región y el de la división de sus tierras en haciendas ganaderas, cuyos vestigios se hacen evidentes en numerosos lugares, incluso dentro de los límites de lo que hoy en día es la Reserva de la Biosfera de Mapimí?

En realidad, contrariamente a lo que se podría pensar, el proceso de poblamiento del Bolsón de Mapimí no revistió en un principio ningún carácter espontáneo, probablemente porque la región seguía siendo poco atractiva, pese a la desaparición del peligro que habían representado, durante casi cuatro siglos, los "indios bárbaros".

Más bien fue a raíz de un largo proceso legislativo que culminó con las leyes promulgadas entre 1883 y 1894 por el presidente Porfirio Díaz y conocidas como Leyes de Deslindes, que se llevaron a cabo casi simultáneamente, la exploración del Bolsón de Mapimí y su partición en grandes latifundios, mismos que luego se subdividieron en haciendas que a su vez irían a convertirse en focos de poblamiento. De acuerdo con estas leyes, se conformaron "compañías deslindadoras" con el objeto de medir, a través de levantamientos topográficos sumarios, lo que se consideraba como "tierras baldías". A cambio de estos trabajos de medición, se le otorgaba a la compañía deslindadora una tercera parte de la superficie medida, contra dos terceras partes para el gobierno federal. Además, se daban facilidades, a las mismas compañías para comprar las tierras federales que habían medido. Fue así como se formaron, una vez más, gigantescos latifundios en el norte de México. Un caso concreto, particularmente interesante, fue el de un abogado de Saltillo, Francisco Sada, quien en virtud del derecho que le fue otorgado en 1883 por el Gobierno Federal de la República, de conformar una compañía deslindadora, se hizo dueño de 450 000 ha de tierras, en un plazo de cuatro años, precisamente dentro del Bolsón de Mapimí en el sector de Sierra Mojada, inmediatamente al norte de la actual Reserva (Archivos de Protocolos, Saltillo, Coah.). En realidad, el abogado Francisco Sada tuvo que compartir este gigantesco dominio - ..que incluso superó en superficie al latifundio de los Sánchez Navarro!- entre varios

socios, entre otros con el Sr. Luis García Teruel al que correspondió una superficie de aproximadamente 68 500 ha y a los hermanos González Treviño 19 250 ha. Sin embargo, en 1890, el abogado Francisco Sada seguía siendo dueño de una superficie de 257 546 ha entre la Sierra Mojada y la laguna de la Leche. Este latifundio iba a convertirse posteriormente en la Compañía Agrícola y Ganadera de Sierra Mojada, alrededor del año 1900. Otro latifundista famoso fue don Evaristo Madero, padre de don Francisco I. Madero, quien aparentemente fue dueño, entre otros, de los predios La Providencia y Mohóvano que abarcaban una superficie total de cerca de 200000 ha. Posteriormente, estas tierras se dividieron y pasaron en parte a manos de particulares como Andrés Villarreal con 44000 ha, Federico Ritter con 30000 ha, los hermanos Gutiérrez con 20000 ha y por otra parte el Estado con más de 102000 ha ubicadas en el municipio de Sierra Mojada. Otra hacienda que abarcaba también una buena parte de la actual Reserva de la Biosfera de Mapimí, fue la de San José de los Alamos, con una superficie de 40 000 ha, que al principio de este siglo fue propiedad de una familia Navarro, y que pasó en la década de los 30 al dominio de la familia Crabtree. Entre tanto, sucedía la Revolución que entre 1910 y 1920 iba a alterar tan profundamente la vida política y económica de la nación.

Pocos son los datos referentes a las acciones que se desarrollaron dentro del Bolsón de Mapimí, exceptuando las batallas que libraron los ejércitos villistas para asegurarse del control de la vía férrea de Chihuahua a Torreón en 1914. Aparentemente, la Revolución trajo como consecuencia una disminución de las actividades ganaderas y el abandono de algunas rancherías dentro de la actual Reserva de la Biosfera de Mapimí, como fueron las de San José del Bosque y de Piedras de Bolas, ubicadas al este de la laguna de Palomas. Sin embargo, las grandes haciendas no fueron desmembradas, sino entre 1960 y 1972, cuando se conformaron los ejidos de La Flor y de los Alamos, tomados de terrenos de la ex-hacienda de San José de los Alamos, así como los ejidos de las Lilas, de Santa María de Mohóvano y de la Sociedad, tomados del ex-predio de Mohóvano que alguna vez perteneció a la familia Madero.

El reparto de las tierras de las grandes haciendas en ejidos y en pequeñas propiedades, ha marcado aparentemente el término del proceso de poblamiento del Bolsón de Mapimí, por lo menos en lo que se refiere a la actividad ganadera que es la que nos ocupa aquí.

Otros eventos como fueron el descubrimiento en 1876, de minerales de plata, de plomo y de zinc en Sierra Mojada, y la construcción subsecuente del ferrocarril de Sierra Mojada a Escalón, o el auge de la explotación del

guayule (*Parthenium argentatum*), una planta cauchifera, a principios de este siglo, así como la de la candelilla (*Europhorbia antisiphilitica*), de la que se extrae todavía una cera utilizada en la elaboración de cosméticos, etc., y finalmente la del agave lechugilla explotado por su fibra, jugaron también un papel importante en el poblamiento y en la utilización de los recursos naturales del Bolsón de Mapimí. Por estas razones, la densidad poblacional en esta región ha tenido algunas fluctuaciones, sin alcanzar nunca valores significativamente altos. En lo que es actualmente la Reserva de la Biosfera de Mapimí por ejemplo, hemos evaluado en 1986 una población permanente de aproximadamente 50 personas en una superficie de 1 600 km², habiéndose dedicado casi todos a la ganadería.

Desafortunadamente, no hemos encontrado todavía datos lo suficientemente precisos como para estimar la cantidad de animales, sea ganado vacuno o caballar, que se criaron en las grandes haciendas del Porfiriato, fuese dentro de la Reserva de Mapimí, o bien en áreas aledañas. Las estadísticas que van de 1930 a 1980, reflejan un aumento un tanto irregular del ganado vacuno en los estados del norte de México, que sin embargo ha pasado de 1'231 000 a 3'313 000 cabezas por los estados de Coahuila, Chihuahua y Durango, de un total de 9'000 000 de cabezas en 1980, por todos los estados del norte de México (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas). Como obviamente la superficie de los agostaderos no ha aumentado, es de suponer que la carga soportada globalmente por estos últimos se ha incrementado en notables proporciones en un plazo de 50 años, aun cuando se tome en cuenta el desarrollo de la ganadería intensiva en vista de la producción de leche. Sin embargo, las densidades de ganado que se observan actualmente en la Reserva de la Biosfera de Mapimí siguen siendo muy bajas y no reflejan ningún aumento espectacular del ganado, por lo menos en la última década. Es así como en 1986 evaluamos entre 6 500 y 7 000 cabezas las existencias de ganado vacuno dentro de la misma área, lo que arrojaba un promedio de una cabeza por cada 23 ó 24 ha.

No obstante la escasa carga a la que están sometidos los agostaderos de la Reserva -en las zonas áridas de Australia, con condiciones climáticas comparables a las del Bolsón de Mapimí, el promedio es de una cabeza por 17 ha de agostaderos y en Africa, en condiciones semejantes, de una cabeza por cada 10 a 12 ha - se observan mortandades de ganado en épocas de sequía, como ha ocurrido este año, con un déficit de precipitaciones de 30 % durante la estación lluviosa de 1988, con relación a la precipitación promedio anual que es de 260 mm.

Por otra parte, los ejemplos abundan de áreas con marcados rasgos de degradación de la vegetación, pese a las escasas densidades de ganado actuales, siendo las más espectaculares conocidas como "peladeros". En estas condiciones, se plantea el problema de que si el pasado de esta región puede explicar la relativa pobreza actual de sus recursos forrajeros.

Por lo menos sabemos ahora que las grandes haciendas, como fueron la de Mohóvano y la de San José de los Alamos, tuvieron finalmente una existencia bastante corta, de unos 30 a 50 años cuando mucho. Una hipótesis para explicar la formación de los grandes "peladeros" que actualmente se observan, sería la de que dichas haciendas sostuvieron densidades de ganado bastante elevadas.

Las únicas descripciones que tenemos de la fisonomía del Bolsón de Mapimí en el siglo pasado las hemos encontrado en Ruxton (1847) quien describe la vegetación y el estado de los pastizales cuando todavía apaches y comanches vedaban cualquier intento de ganadería en el área. Es así como él describe a veces "en las planicies... un pasto alto y áspero", que bien puede ser la sabaneta (*Hilaria mutica*) en temporada seca, "en los acantilados.. una excelente especie conocida como gramma", que posiblemente fuese el pasto de navajita (*Bouteloua gracilis*), "y en las praderas.. una variedad de pasto búfalo, que los caballos y el ganado comen como si fuese grano", y que era probablemente el zacate de pajón (*Sporobolus airoides*). Aunque esta descripción nos permite pensar en la abundancia de pastos en esa época, Ruxton también menciona que en otra ocasión tuvo que acampar "en medio de una desolada planicie sin agua para los animales ni madera para hacer fuego", lo que asemeja mucho a la descripción de un "moderno" peladero...

Entonces, ¿será anterior la degradación de la vegetación a la ganadería y al poblamiento permanente en esta región? o ¿habrá sucedido aquí lo que Cloudsley-Thompson (1979) describe acerca de Nuevo México? : "gran parte del Desierto de Chihuahua, que rodea Las Cruces en Nuevo México, estaba cubierta de exuberante hierba a principios del siglo, pero se apacentó demasiado ganado y demasiada gente se hizo rica con demasiada rapidez. Como consecuencia, estas tierras son ahora desérticas y su productividad se ha destruido".

Literatura citada

Archivos de Cuatrociénegas. Coahuila.

Archivo General de la Nación. México, D.F.

Archivos de Protocolos, Saltillo, Coah.

Archivos de la Secretaría de la Reforma Agraria. México, D.F.

Galaviz de Capdeville, M.E. 1967. Rebeliones indígenas en el norte del Reino de la Nueva España (Siglos XVI y XVII). Edit. Campesina. México.

Harris III, C. H. 1975. A mexican family empire. The latifundio of the Sánchez Navarro, 1765-1867. University of Texas Press, Texas.

Morfi, J.A. de 1935. Viaje de indios y diario de Nuevo México. 2a. Ed. Bibliófilos mexicanos. Antigua librería Robledo de José Porrúa e hijos. México, D.F.

Ruxton, G. 1848. Adventures in Mexico and the rocky mountains. Harper and Bros. New York.

ESTUDIOS DE CASOS EN OTRAS ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS
DE AFRICA Y AMERICA

ETUDES DE CAS DANS D'AUTRES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES
D'AFRIQUE ET D'AMERIQUE

OPTIMISATION DE L'UTILISATION DE L'EAU EN ZONE ARIDE MEDITERRANEENNE

Christian Floret
Roger Pontanier
Ahmed Souissi

Introduction

Les zones arides méditerranéennes qui reçoivent de 100 à 400 mm de pluie moyenne annuelle, couvrent de très grandes surfaces en Afrique du Nord. Elles sont caractérisées par une longue sécheresse estivale (4 à 6 mois) et une grande variabilité inter-annuelle. La végétation naturelle est de type steppique.

Les systèmes écologiques utilisés pour le parcours sont loin d'utiliser les quantités d'eau disponible de façon optimale. En effet, si l'on considère que 1 m³ d'eau peut produire de 1 à 4 kg de matière sèche (MS), avec 200 mm de pluie par exemple, on devrait obtenir de 2 à 8 tonnes de MS ha⁻¹ an⁻¹, si la pluie tombait à une période favorable sur des systèmes à végétation "performante". Or, en zone aride nord-africaine, on obtient en général des rendements inférieurs à 1 tonne (Floret et Pontanier, 1982; Le Houérou, 1984). La marge d'amélioration est donc grande, soit en jouant sur l'efficacité du matériel végétal, soit sur le stockage et la redistribution de l'eau de pluie pour les plantes, soit encore sur la disponibilité en éléments nutritifs. Par ailleurs, ces steppes ont été fréquemment défrichées pour la céréaliculture ou pour l'arboriculture, même dans les zones où la pluviosité moyenne annuelle est inférieure à 300 mm, valeur considérée comme limite pour la réussite d'une céréale par exemple. Des appoints d'eau sont donc à trouver pour la régularisation de ces productions agricoles. Cet article a pour objectif de donner quelques principes d'aménagement, pour ces zones arides, qui concourent à l'optimisation de l'utilisation de la pluie pour la production végétale. Les aspects socio-économiques de ces aménagements ne sont pas pris en compte.

Optimisation du matériel végétal

Optimiser l'utilisation de l'eau par la végétation consiste évidemment d'abord à limiter la part perdue par évaporation. Un couvert continu de végétation à la surface du sol n'est pas généralement possible dans les zones recevant 100 à 400 mm de pluie moyenne annuelle; le couvert des espèces pérennes dépasse rarement 30-40 %. Cette couverture diminue cependant la vitesse du vent à la surface du sol, la température de surface, de ce fait, permet de limiter l'évaporation. Des mesures effectuées en Tunisie, grâce auxquelles on a validé un modèle de simulation (Floret *et al.*, 1981) montrent que, lorsque le couvert végétal atteint 30 % en zone sableuse, la part de l'eau du sol perdue par évaporation sur l'ensemble de l'année avoisine 50 %. C'est vers cette valeur qu'il faut tendre, par régénération des espèces pérennes steppiques dans les zones dégradées, le couvert végétal favorisant par ailleurs l'infiltration sur place de l'eau des pluies. La végétation à base d'annuelles à cycle court des zones dégradées, laisse le sol à nu durant une grande partie de l'année et la part de l'évaporation peut être très forte. La régénération naturelle par protection de la végétation est assez rapide dans les zones sableuses; elle est plus lente ailleurs, surtout si les porte-graines se sont raréfiés.

Favoriser la pluri-stratification de la végétation permet aussi une meilleure utilisation de l'eau. Les faibles pluies sont facilement utilisées par les petites espèces pérennes et les annuelles, et l'eau qui s'infiltré, en profondeur lors des épisodes pluvieux importants, est reprise par les grandes espèces ligneuses qui peuvent ainsi croître jusqu'au début de l'été en épuisant cette eau profonde. On tend actuellement à essayer de réintroduire une strate arbustive qui devait exister autrefois. On trouve en effet encore quelques témoins de cette steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* et l'introduction d'*Acacia* (*A. cyanophylla*, *A. ligulata*, etc.) a été pratiquée avec plus ou moins de succès (Le Houérou et Pontanier, 1987). Il faut un certain appoint d'eau par ruissellement (dans les petits talwegs par exemple) pour que l'arbre s'installe et produise. Ces arbres peuvent parfois atteindre la nappe phréatique dans les vallées, et ils prennent alors de grandes dimensions. L'intérêt pratique d'une strate arbustive est de pouvoir disposer de réserves fourragères sur pied, durant la saison sèche ou les périodes de sécheresse.

En zone de pluie à régime méditerranéen, le maximum d'eau est disponible en hiver. Il faut donc chercher à installer ou à favoriser des espèces qui peuvent photosynthétiser à basse température. La plupart des espèces sont de type photo-synthétique C₃. Quelques espèces des steppes

poussent mieux que les autres en hiver et il faudrait les favoriser. On peut s'interroger sur l'efficacité du matériel végétal vis-à-vis de l'eau évapotranspirée : des résultats obtenus dans la zone à 100-200 mm de pluie moyenne annuelle (Floret et Pontanier, 1982) vont de 0,2 à 0,6 g de matière sèche par kg d'eau évapotranspirée, valeurs proches de celles obtenues dans les déserts américains (Szarex, 1979).

L'orge montre une bonne croissance en période froide et c'est une des raisons du défrichement des steppes, la céréale semée à l'automne, étant pâturée en vert si les pluies de printemps ne sont pas assez abondantes pour l'amener à maturité. Quelques espèces steppiques restent photosynthétiquement actives en été (arido-actives). Elles ont l'intérêt de permettre de proposer de la matière verte stockée sur pied aux animaux durant la période estivale, mais elles ne produisent pas durant cette période.

En plus de la majorité d'espèces de type C_3 , il reste quelques espèces de type d'origine tropicale (*Cenchrus ciliaris*, *Digitaria commutata*, etc.) qui ont une efficacité maximale lorsque les pluies sont précoces à l'automne ou tardives au printemps. Des études sont actuellement réalisées en Tunisie pour le semis de mélanges à base de ces graminées locales C_3 et C_4 , dans les zones dégradées, afin de reconstituer des steppes qui puissent produire malgré la grande variabilité de la distribution des pluies. Les populations des espèces steppiques montrent souvent une gamme d'individus adaptés à cette variabilité et la sélection sur le seul critère de la productivité peut être dangereuse. Les variétés de "populations" traditionnelles d'orge produiront plus régulièrement que des variétés sélectionnées à haut rendement. D'une façon générale aussi la grande diversité floristique des steppes nord-africaine d'espèces sur une station procure une certaine stabilité à la production pastorale. Il faut chercher à favoriser cette diversité.

Optimisation de la disponibilité en eau

Les communautés maghrébines vivant dans les zones arides du sud de la Méditerranée, ont essentiellement bâti leur civilisation agricole sur l'élevage et les cultures pluviales (céréales, oliviers, figuiers et vignes). La réussite de celles-ci était conditionnée par des techniques d'apport d'eau supplémentaire au champ (collecte d'eau à partir d'impluvium, dérives de cours d'eau, petites retenues, etc..) dont certaines relevaient d'une gestion collective (El Amami, 1983).

En l'absence d'utilisation continue et intensive de l'irrigation, l'agriculteur de ces zones arides n'a jamais pu faire disparaître totalement

le risque de voir ses récoltes anéanties par la sécheresse. Cependant, depuis très longtemps, il a toujours cherché à minimiser les variations interannuelles de la production végétale par des pratiques traditionnelles. Celles-ci, outre l'utilisation de cultivars rustiques mais peu productifs semés ou plantés à faible densité (partage de la ressource en eau), mettent en oeuvre différentes techniques de collecte et d'économie de l'eau (Pontanier et Souissi, 1988).

C'est peut-être au niveau de la maîtrise des eaux de surface qui se perdent par ruissellement ou par évaporation, que sa marge de manoeuvre est la plus importante. L'amélioration du statut hydrique des terres de ces régions est une des composantes fondamentales de l'aménagement. Aussi, il faut absolument chercher à limiter, capter, dériver les eaux de ruissellement sur le champ par des ouvrages de petite hydraulique agricole, à réduire l'évaporation et la concurrence des mauvaises herbes par des pratiques culturales, ou encore favoriser le stockage de l'eau en vue d'irrigation de complément (limitation du risque).

Par ailleurs, il est un principe à réadopter ou à conserver : en zone aride, une partie de la surface agricole, même "utile" doit être conservée pour "produire" l'eau de ruissellement qui sera utilisée sur des parcelles cultivées à l'aval (Thames et Fischer, 1981; Evenary *et al.*, 1971; National Academy of Sciences, 1977; Floret et Pontanier, 1982; El Amami, 1983, 1984). Or, ce principe actuellement est de moins en moins respecté en raison de la forte pression sur les terres.

La collecte de l'eau

L'objectif principal est de récupérer de grandes quantités d'eau produite par ruissellement et aussi de provoquer la création de nouveaux sols à partir des produits de l'érosion. En Tunisie, les pratiques visant à atteindre ces objectifs sont très anciennes. El Amami (1984) montre comment les agriculteurs en fonction de la zone climatique ont imaginé des systèmes de collecte de l'eau. Certains sont fortement menacés et même en voie de disparition. Deux de ces systèmes parmi les plus faciles à réhabiliter et à adapter sont présentés ci-dessous (Bonvallet, 1979, 1986; El Amami, 1984; M^r Timet, 1983 et 1987) :

1. Equipement des talwegs

De petits barrages, appelés généralement "jessours" sont disposés au travers d'une vallée, en montagne ou en piedmont. Un déversoir existe sur chacun d'eux; il permet d'éliminer le surplus d'eau lorsque le jessour est

plein. Une série de jessours, ainsi placés l'un au-dessous de l'autre, dans une vallée, ralentit la vitesse du ruissellement et favorise l'infiltration de l'eau. L'arboriculture est pratiquée derrière ces jessours où sont piégés les produits d'érosion (Fig. 1).

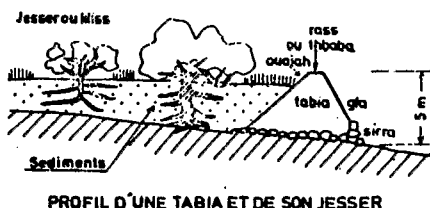
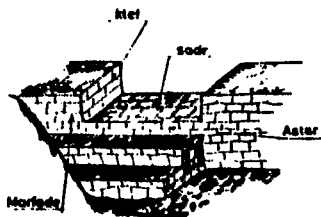
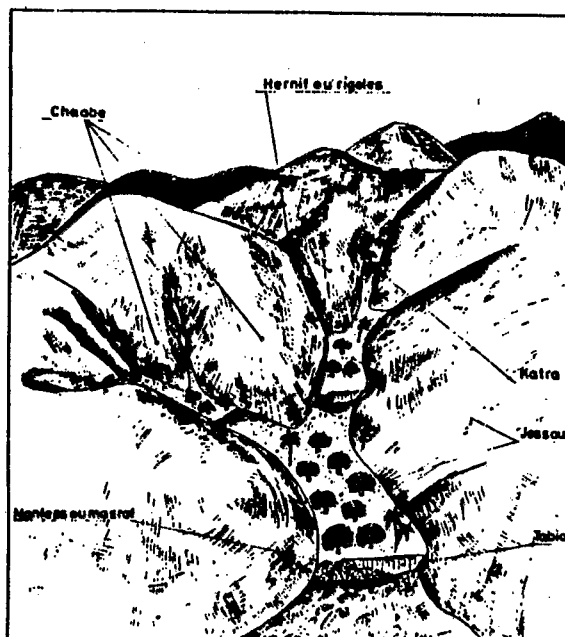


Fig. 1. Jessour et terminologie à Matmata Sud Tunisien (El Amami, 1984)

2. L'aménagement des glacis; l'agriculture d'impluvium

Sur les glacis, d'autres ouvrages sont construits pour ralentir le ruissellement, retenir l'eau et augmenter l'infiltration. La "tabia", levée de terre suivant la courbe de niveau, en est l'élément principal. Une partie de la surface sert d'aire de ruissellement (impluvium), et n'est pas cultivée.

Bourges *et al.* (1984) montrent dans la région de Gabès (P = 180 mm) sur un glacis limoneux présentant une pente de 2 % que pour espérer avoir un équivalent pluviométrique au champ (pluie + ruissellement) en année moyenne, de 250 mm, il faut un rapport entre aire de ruissellement (impluvium) et aire cultivée de 3,5 (Huynh van Nhan 1984). Cependant, on peut se poser la question : quel est l'agriculteur qui aujourd'hui acceptera de sacrifier une telle surface pour produire de l'eau? Les solutions consistent donc à utiliser au mieux l'eau des oueds qui débouchent des reliefs sus-jacents, en l'épandant sur les glacis grâce à des travaux de petite hydraulique d'adduction au champ (Nahal, 1975; Thames et Fisher, 1981; Bourges *et al.*, 1984).

Parmi les autres solutions on peut retenir celles qui visent à augmenter l'efficacité du ruissellement de certains impluviums : épierrage, destruction de la végétation naturelle manuellement ou chimiquement, compactage. Ainsi, Ehreler *et al.* (1978) ont travaillé dans la région de Phoenix (Arizona) sur la supplémentation en eau de Jojoba (*Simmondsia chinensis*) à partir de petits impluviums de 20 m² par plant. Ils montrent, pour une durée de l'expérimentation égale à 4 ans, que les parcelles non traitées (témoin) ont reçu en moyenne une quantité d'eau (pluie + ruissellement) de 154 mm. Sur les parcelles où les impluviums (runoff-collecting micro-catchments) ont été nettoyés, aplanis et compactés au rouleau, cette quantité d'eau s'élève à 435 mm, tandis que sur les impluviums imperméabilisés celle-ci atteint 876 mm.

Le travail du sol

Sur les zones suffisamment arrosées par les pluies ou supplémentées en eau de ruissellement, le travail du sol doit viser à augmenter l'absorption sur place des eaux pluviales (précipitées et/ou ruisselées), et limiter l'évaporation. L'accès, pratiquement généralisé des paysans de la zone aride, à la mécanisation a bien entendu intensifié les pratiques de travail du sol. Or, cette intensification a plus porté sur l'extension des surfaces cultivées que sur l'amélioration du profil cultural. Le résultat, à l'heure actuelle, est que de nombreuses terres de la zone aride se sont déstructurées, fragilisées et ont perdu une partie de leurs propriétés hydro-dynamiques.

A ce sujet, nous citerons Bahri *et al.* (1986) qui, à l'aide d'un simulateur de pluie ont appliqué une séquence d'averses, représentant une hauteur de 80 mm. Voulant montrer l'influence de différentes façons culturales pratiquées avant la saison des pluies (fin août) sur la recharge des réserves hydriques et sur l'érodabilité des terres, ceux-ci concluent que le labour profond avant la saison des pluies améliore de 90 % l'infiltrabilité des terres par rapport au témoin non travaillé, mais augmente leur sensibilité à l'érosion hydrique. En outre, ils montrent qu'il est préférable de laisser le sol non travaillé plutôt que d'effectuer un labour superficiel dans le sens de la pente, malgré le gain sur l'infiltration.

Ces essais, sans rejeter les principes de techniques préparatoires du sol sec, montrent bien que celles-ci sont d'emploi délicat, et que de toute façon, l'agriculteur n'investira que de façon parcimonieuse. Il préfère augmenter ses surfaces en travaillant légèrement, quitte à dégrader à moyen terme ses terres. Il faut en outre souligner que les différentes pratiques s'inspirant du "dry-farming" ne sont vraiment opérantes que pour les zones situées au-delà de 450 mm (Floret *et al.*, 1977). Enfin, les pratiques qui consistent à défricher ou à labourer en sec, pour séduisantes qu'elles soient, sont rarement adaptées aux moyens de tractions disponibles (Baldy, 1986).

Diminution de l'évaporation

Dans le domaine de l'agriculture pluviale pérenne, grâce à une parfaite maîtrise du calendrier des façons culturales, on entretient en surface un horizon de rupture de capillarité ("mulching"). Mais, ici encore le système doit être amélioré; en effet, ces façons indéfiniment répétées fragilisent à l'extrême le sol qui, dans certains cas voit la totalité ou au moins une partie importante des horizons supérieurs disparaître. Aussi, actuellement, ces pratiques qui ont donné satisfaction pendant plus d'un demi-siècle sont donc remises en question. Khatteli (1983), à l'occasion d'une étude en Djéffara tunisienne, propose une solution qui consiste à incorporer au sol un "mulch végétal" (résidu de culture, de taille, etc.) et à utiliser des outils à dents moins dégradants. En outre, toute solution qui consiste à augmenter la rugosité du paysage (brise-vent, murs de pierre sèche, cultures pérennes alternant avec des cultures annuelles), tout en diminuant la vélocité des vents et l'albédo, minimise de façon considérable l'évaporation et l'érosion (Baldy, 1986).

Discussions - Conclusions

En région aride, peut être plus que dans d'autres régions, il faut se préoccuper de l'aménagement pour une "production durable" sur le long terme. On assiste en Afrique du Nord, depuis quelques dizaines d'années à une augmentation globale de la production grâce au remplacement de la végétation naturelle par des cultures, mais en bien des endroits, il s'agit d'une agriculture "minière" qui détruit progressivement sols et semenciers naturels. Or, après dégradation, la remontée biologique est lente, avec des processus d'altération des roches-mères faibles en l'absence d'eau, avec croissance végétale souvent limitée et une reproduction des espèces aléatoire. Les perturbations qu'entraînent une intensification désordonnée des pratiques agricoles sont beaucoup moins "absorbées" par ce milieu qu'en zone plus humide.

Nous n'avons cependant que peu abordé ici ce problème de la conservation des sols et de la végétation pour le long terme, pour concentrer la réflexion sur la recherche d'une meilleure valorisation de l'eau rare et irrégulière. Les pratiques recommandées doivent cependant toujours s'examiner en regard des phénomènes d'érosion hydrique ou éolienne qu'elles peuvent provoquer.

Pour revenir à la recherche de la valorisation optimale de l'eau, il faut tout d'abord s'assurer du concours d'un matériel végétal très efficace.

La régénération de la végétation naturelle et son utilisation optimale par le parcours sont souvent à privilégier car ces écosystèmes pastoraux bien que peu stables au niveau de la production interannuelle qui est liée à la pluviosité, sont très résilients (Noy Meir, 1974). Ils sont bien adaptés pour résister aux sécheresses prolongées qui peuvent se produire. Ils sont en équilibre dynamique avec la perturbation temporaire que représente la sécheresse ou le surpâturage, et montrent un rééquilibrage progressif entre espèces après celle-ci. Il existe ainsi des cycles d'années au cours desquelles même l'espèce physionomique dominante peut être temporairement remplacée par une autre, sans que l'équilibre général de la communauté soit irréversiblement menacé. La composition floristique à un instant donné intègre des paramètres correspondant à des événements climatiques anciens et récents (Westoby, 1980; Bendali *et al.*, sous presse). C'est pourquoi les manipulations que l'on pourrait effectuer sur la végétation doivent être effectuées avec précaution. On peut être tenté de supprimer une espèce moins palatable ou moins efficace pour l'eau en ce qui concerne la production. Mais il pourra s'agir justement de l'espèce qui peut résister à

une perturbation donnée et occuper l'espace, tant que des espèces plus performantes mais plus fragiles n'ont pas effectué leur multiplication et leur réinstallation après perturbation.

Lorsque le système est trop dégradé, on peut imaginer réintroduire des espèces ou des mélanges d'espèces, complémentaires pour l'utilisation de l'eau, dont il faut s'assurer qu'ils sont relativement stables à long terme et reproductibles en présence d'animaux. A ce titre les espèces exotiques introduites sont peut-être parfois plus performantes en production que les espèces autochtones, mais elles sont en général moins bien armées pour le long terme, supportant mal par exemple une succession d'années sèches ou ne se reproduisant pas. C'est le cas par exemple d'*Acacia cyanophylla* et de la plupart des espèces d'*Atriplex* introduites qui ne peuvent être conduites que comme des "cultures" à durée de vie limitée.

• En ce qui concerne globalement l'utilisation de l'eau au niveau de la région, il faut évidemment chercher d'abord à réduire au maximum les pertes au niveau des oueds qui s'écoulent vers la mer, sauf si l'eau est volontairement laissée aux oueds pour l'alimentation de nappes d'inferoflux. On a donc un choix à faire entre transformation immédiate de l'eau de pluie en matière verte ou un report de l'utilisation de l'eau par stockage profond dans le sous-sol pour une exploitation ultérieure par l'irrigation. Ce dernier modèle est intéressant en climat méditerranéen aride où les pluies se produisent principalement en saison froide, alors que la température optimale de photosynthèse n'est atteinte que durant une faible partie de la journée.

Si l'on ne cherche pas à recharger les nappes, un autre modèle consiste à stocker l'eau dans le sol en favorisant l'infiltration dans la zone qui peut être atteinte par les racines. Ceci s'obtient : 1) soit en maintenant un bon couvert végétal sur l'ensemble de la zone, en limitant donc la pression pastorale pour éviter le surpâturage et la consommation de la litière par les animaux. Végétation et litière doivent être en particulier relativement importantes au début de la saison des pluies, au moment où les caractéristiques physiques des sols sont les plus défavorables pour l'infiltration des pluies (souvent orageuses); 2) soit en provoquant le ruissellement sur une partie de la surface pour une accumulation en des endroits privilégiés où la profondeur du sol est suffisante pour le stockage de l'eau excédentaire. C'est le modèle qui permet la meilleure économie de l'eau par limitation de l'évaporation, globalement, sur l'ensemble de la région. En effet, on limite le stockage de l'eau dans les horizons superficiels des sols, où les phénomènes de reprise de cette eau par le pouvoir

évaporant de l'air sont les plus intenses. L'eau stockée en profondeur peut être retraitée par le végétal plus tard dans la saison, en particulier à la fin du printemps, à une période où les conditions de température sont optimales pour la croissance. Les quantités d'eau stockées permettent alors de mener à bien des cultures qui demandent une quantité d'eau supérieure à la moyenne de la pluviosité de la région. On a ainsi un moyen de régulariser la production, d'augmenter la stabilité des écosystèmes ainsi supplémentés en eau par le ruissellement sur une partie du territoire. Plus on va vers des climats arides, plus la surface de l'impluvium stérile augmente par rapport aux écosystèmes productifs. C'est un modèle qui va continuer à se développer, involontairement par augmentation de la dégradation, ou même volontairement en favorisant le ruissellement et même l'érosion par différentes pratiques (épierrage, compactage, suppression du couvert végétal).

On arrivera ainsi à des petites zones "vertes" où la production pourra être intensifiée par de nouveaux cultivars et par des engrais, entourées de zones dénudées servant seulement d'impluvium. C'est un modèle relativement plus simple que les modèles actuels qui demandent une grande flexibilité afin de pallier les irrégularités de la pluviosité (ex. : pâturage des céréales en vert si l'année est sèche, transhumance de plus en plus difficile à pratiquer, compte tenu de la sédentarisation, fluctuation du nombre d'animaux selon la pluviosité, etc.). C'est aussi un modèle à coût socio-économique plus élevé, car les principaux intrants du système doivent être améliorés simultanément.

Bibliographie

- Bahri, A.A., B. Dridi et R. Pontanier.** 1986. Conséquences des façons culturales en fin de saison sèche sur le régime hydrique et l'érosion des terres du Kairouanais. Actes du Séminaire National sur les terres à céréales. 10-11 déc. 1986, Thibar (Tunisie), Direction des Sols, Tunis.
- Baldy, Ch.** 1986. Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 114 p.
- Bendali, F., C. Floret, E. Le Floc'h, R. Pontanier** (sous presse). The dynamics of vegetation and soil mobility in arid regions of Tunisia. *Journal of Arid Environments*.
- Bonvallois, J.,** 1979. Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.* 16 (3), 233-245.

- Bonvalot, J.** 1986. Tabias et jessours du Sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. *Cah. ORSTOM, sér. Pédologie*, 22 (2), 163-171.
- Bourges, J., C. Floret, G. Girard, R. Pontanier.** 1984. Dynamique de l'eau sur un glacis du Sud tunisien (type Segui). ORSTOM, Tunis, CEPE/CNRS, Montpellier, multigr. 86 p.
- El Amami, S.** 1983. Une nouvelle conception des aménagements hydrauliques en Tunisie. *Impact : Science et Société*, 1: 61-68.
- El Amami, S.** 1984. Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. CRGR, Tunis. 69 p.
- Ehreler, V.L., D.H. Fink et S.T. Mitchell,** 1978. Growth and yield of Jojoba Plants in Native Stands using Runoff-Collecting Microcatchments. *Agronomy Journal*, 70: 1005-1009.
- Evernary, M., L. Shanan et N. Tadmor.** 1971. The Negev: The challenge of a Desert. Haward University Press, Cambridge, Massachusetts, 345 p.
- Floret, C., H.N. Le Houérou et R. Pontanier.** 1987. Risque climatique et aménagement. Comparaison entre les zones arides au Nord et au Sud du Sahara. *Actes Medecos V*, Montpellier, 15-21 juillet 1987.
- Floret, C., R. Pontanier.** 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, 150, Paris, 544 p.
- Floret, C., R. Pontanier et R. Rambal.** 1982. Measurement and modelling of primary production and water use in a South Tunisian steppe. *Journal of Arid Environments*, 5: 77-90.
- Huynh, van Nahn.** 1982. Utilisation des eaux de ruissellement dans le sud tunisien. Résultats pour la culture céréalière: Approche en milieu réel de production. Bulletin technique de l'IRA no. 2, Médenine-Tunisie, 106 p.
- Khatteli, H.** 1983. Recherches stationnelles sur la désertification dans la Djeffara (Tunisie). Dynamique de l'érosion éolienne. Thèse, Université Paris I, 218 p.
- Le Houérou, H.N.** 1984. Rain use efficiency: an unifying concept in arid land ecology: review. *Journal of Arid Environments*, 213-247.
- Le Houérou, H.N., R. Pontanier,** 1987. Les plantations sylvo-pastorales dans la zone aride de Tunisie. Notes techniques, MAB18. UNESCO, Paris, 81 p.
- M'Timet, A.,** 1983. Contribution à l'étude pédologique des limons des Matmatas. Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 183 p., + annexes, 7 cartes h.t.
- M'Timet, A.,** 1987. Evaluation de la sensibilité des sols arides à l'érosion hydrique. ES 240, Direction des Sols, Tunis, 51 p.
- National Academy of Sciences,** 1977. Expansion des ressources en eau dans les zones arides. Techniques prometteuses et possibilités de recherches, Washington, DC, 156 p.

- Noy-Meir, I.** 1974. Stability in arid ecosystems and the effects of man on it. Structure, functioning and management of ecosystems. *In* : Cove A.J. (ed.). Proceeding of the First International Congress of Ecology. The Hague, The Netherlands, Sept. 4-8, 1974, 220-225.
- Pontanier, R. et A. Souissi.** 1988. Pratiques agricoles et changement du régime hydrique des terres en zone aride méditerranéenne. Atelier sur l'agriculture et la transformation des terres dans le bassin méditerranéen. IAM Montpellier, 13-17 juin 1988. MAB-UNESCO Paris, CIEEAM Montpellier, Comité Français du Scope.
- Thames, J.L. et J.N. Fischer.** 1981. Management of water resources in arid lands. *In*: Goodall, D.V. and R.A. Perry (eds.) Arid Land Ecosystems. 2: 519-547.
- Westory, M.** 1980. Elements of a theory of vegetation dynamics in arid rangelands. *Israel Journal of Botany*, 28 : 169-194.
- Szarek, S.R.** 1979. Primary production in four north american deserts: indices of efficiency. *Journal of Arid. Environments.*, 2: 187-209.

ÉCOLOGIE COMPAREE DE DEUX REGIONS SEMI-ARIDES : LE NORDESTE DU BRESIL ET LE SAHEL AFRICAIN

Jean Claude Leprun

Introduction

De nombreux facteurs du milieu physique et humain sont communs aux régions semi-arides du Nordeste brésilien et du Sahel ouest-africain : climat sec et chaud à fortes variations pluviométriques pluriannuelles, roches du socle précambrien et des couvertures sédimentaires, végétation xérophyle arbustive et arborée, réseau hydrographique à régime temporaire, population pauvre, exode rural, agriculture de subsistance aléatoire...

Malgré ces points de similitude, il subsiste des différences notables au niveau de la pédogenèse et du comportement des sols, de la composition et du mode de recouvrement de la couverture végétale, en bref du fonctionnement des écosystèmes et des agrosystèmes. Après avoir passé en revue les différents facteurs de l'écologie de ces deux régions, nous allons les comparer de manière à mieux comprendre les processus et les relations eau-sol-plante, compréhension qui pourra aider au développement et à une meilleure gestion des sols et des eaux de ces régions.

Présentation des facteurs de l'écologie des deux régions

a) *Situation géographique* : les coordonnées géographiques sont les suivantes (Fig. 1) :

Sahel : 10-18° latitude N
4-15° longitude O

Nordeste : 3-15° latitude S
34-45° longitude O

Les deux zones étudiées se situent de part et d'autre de l'équateur. Le Nordeste est plus étendu latitudinalement, la continentalité du Sahel est plus accentuée.

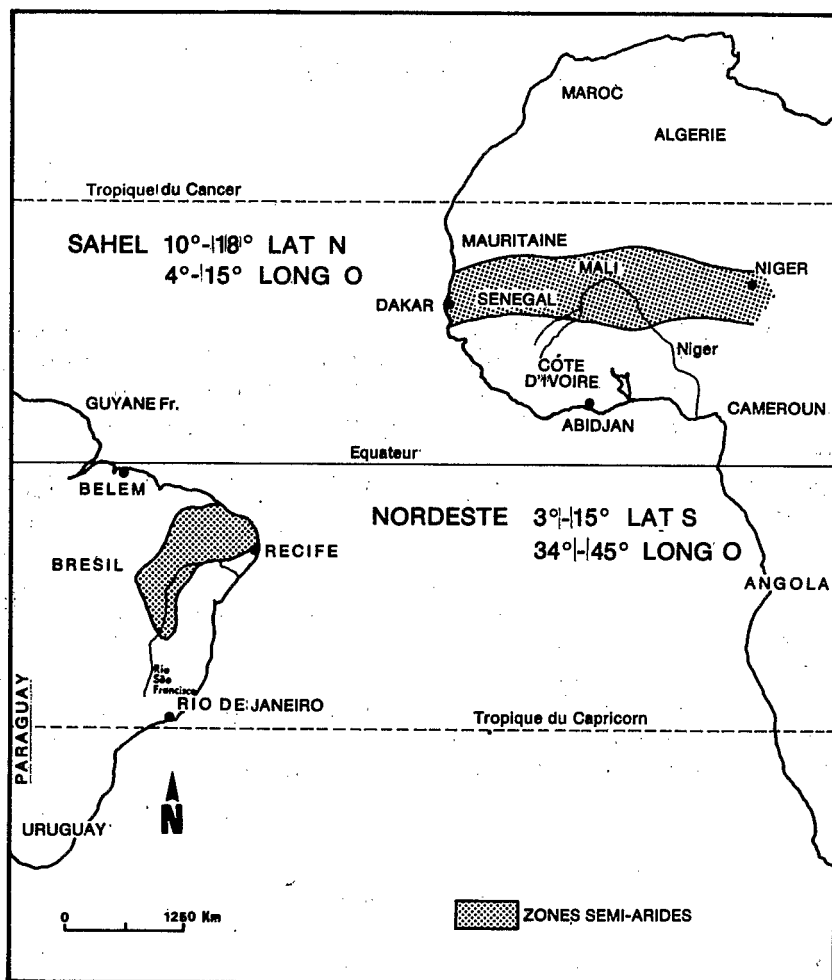


Fig. 1. Situation géographique.

b) *Climat* : la distribution des pluies, de la température et de l'humidité de l'air est soumise :

- dans le Sahel, au déplacement de la zone de contact (F.I.T.) entre deux masses d'air qui s'opposent, l'une septentrionale continentale sèche, l'autre méridionale humide;

- pour le Nordeste en grande partie par les fronts froids venant du sud.

Les valeurs moyennes annuelles de quelques paramètres climatiques relevées durant la même période 1931-1960 pour deux stations caractéristiques illustrent le climat des deux régions :

	Pl mm	R usa	Température °C		Humidité %		Evaporation moy (mm)
			moy	min	moy	min	
Quixeramobim (NE)	660	180	24,7	23,4	59,4	50,8	1764,2
Dori (Sahel)	510	260	36,4	32,0	45,0	22,0	3817,6

(Pl = pluviométrie; R = érosivité des pluies; Evaporation bac type A)

Les coefficients de variation interannuels de la pluviométrie atteignent 50 % dans le Nordeste et sont les plus élevés connus au monde. Dans le Sahel ils ne dépassent pas 30 %. La saison sèche sahélienne de 6 à 7 mois est très stricte, alors que dans le Nordeste sur dix années consécutives de relevés il est bien difficile de trouver une station qui présente un seul mois de l'année sans aucune pluie. Le climat du Sahel est donc plus contrasté, plus agressif, a un air plus sec, à pouvoir évaporant bien supérieur à celui du Nordeste. Les vents y sont puissants et pratiquement constants, en particulier dans la zone septentrionale, contrairement à ce qui se passe dans le Nordeste (Leprun, 1983b).

c) *Les roches* des deux régions sont très semblables. Ce sont d'un côté les formations cristallines de la même vieille plateforme précambrienne constituées de migmatites, de granites et de roches basiques, plateforme qui s'est séparée en deux lors de la formation des deux continents au cours de l'ère secondaire, de l'autre les roches sédimentaires d'âge secondaire et tertiaire (grés, schistes, calcaires). Cependant, alors que les roches cristallines dominent dans le Nordeste, les formations sédimentaires couvrent l'essentiel du Sahel ouest-africain. De plus, alors que le socle africain est resté tectoniquement stable, le bouclier nordestin n'a cessé de s'élever depuis le secondaire.

d) *Le relief* de la région brésilienne est ondulé, présente de nombreux affleurements et inselbergs sur le socle cristallin et des "chapadas" ou plateaux gréseux en zone sédimentaire, il ne possède pas de recouvrements sableux meubles, l'écoulement est toujours assuré. Le relief du Sahel est

plat, cuirassé, sans affleurements. Situé sur les marges septentrionales du Sahara, le Sahel a un modelé qui s'est constitué essentiellement à partir d'une couverture sableuse ou sablo-argileuse plus ou moins épaisse, l'écoulement est souvent endoréique.

e) *Les sols* du Nordeste se sont constitués à partir des roches du socle très peu altérées. Ils sont peu épais, très riches en minéraux altérables, à complexe absorbant riche ou saturé, à faible présence en kaolinite.

Les sols sahéliens se sont développés soit aux dépens d'un épais manteau d'altération kaolinique ancien constitué de vieilles ferrallites sablo-argileuses et de cuirasses et carapaces ferrugineuses plus ou moins démantelées, soit sur une couverture de sables éoliens. Ces derniers dominent au Nord du 14° de latitude nord, les premiers sont majoritaires vers le Sud. Ce sont dans les deux cas des sols épais, pauvres chimiquement, à minéraux altérables rares ou absents, riches en kaolinite. Du point de vue des propriétés physiques les sols du Nordeste sont plus perméables, ont une meilleure structure que leurs homologues du Sahel. Leur meilleure stabilité structurale se manifeste par une absence quasi-totale de croûtes et pellicules de battance alors que ce phénomène est la règle dans le Sahel.

f) *Les eaux* : les caractères hydrodynamiques des sols des deux régions sont également très différents. Alors que les coefficients de ruissellement des bassins versants du Nordeste semi-aride atteignent à peine 5 % de la pluviométrie, ceux du Sahel dépassent 25 %. Sous pluies simulées, sur des sols bruns eutrophes très semblables à Oursi (Burkina Faso) et Sumé (Paraiba) et dans des conditions expérimentales comparables (pente, hauteur et intensité des pluies), sur parcelles de 1 m², la hauteur des pluies d'imbibition, celles qui correspondent à la quantité d'eau infiltrée avant le premier ruissellement, est 8 fois plus élevée dans le Nordeste. Le taux de ruissellement après la première pluie de 1 heure à 60 mm/h aussi bien en sol nu que sous végétation naturelle est de 30 % dans le Sahel alors qu'il est nul dans le Nordeste (Chevalier, 1982; Molinier *et al.*, 1989).

Les eaux d'infiltration du Nordeste se chargent dès le premier mètre de sol traversé et de manière considérable (100 fois les taux de Na et Cl, 10 à 20 fois ceux de Ca, Mg et CO₃H des eaux de pluies), les mêmes eaux d'infiltration africaines restent peu chargées (Leprun, 1989a). La composition moyenne des eaux de rivière reflète ces différences : pour le Nordeste, Ca de 23,8, Mg de 19,2, Na de 79,7, Cl de 157, 5 mg/l contre respectivement 7,3, 3,9, 3,1 et 1,4 mg/l pour les rivières du Sahel (Leprun, 1985).

g) *La végétation* : c'est, avec les sols, le facteur écologique qui présente le plus de différence lorsqu'on compare les deux régions entre elles. L'extension de la couverture arborée et arbustive qui ne représente que 5,3 % de la superficie du Sahel ouest-africain, atteint 90 % pour la zone semi-aride de trois états nordestins. Dans le Nordeste on a affaire à une formation connue sous le nom de "caatinga" qui est un bush, voire une véritable forêt basse et sèche *continue* de 2 à 5 m de hauteur, à strate graminéenne rare et à espèces ligneuses où dominent les légumineuses, à pouvoir de régénération élevé. Les formations représentatives du Sahel sont la savane arborée et arbustive *ouverte*, à nombreuses espèces soudaniennes, à strate graminéenne steppique dominante ponctuée de ligneux parmi lesquels quelques légumineuses, et les "brousses tigrées" *contractées*, qui constituent une part importante de la couverture végétale de l'Ouest africain sec entre 14 et 16 ° de latitude nord. Sur photographies aériennes les brousses tigrées apparaissent constituées de bandes boisées sombres qui alternent parallèlement avec des bandes dénudées claires évoquant le pelage d'un tigre. La structure transversale de ces bandes met toujours en évidence une partie haute herbeuse qui correspond à une microdune sableuse, une partie médiane nue qui correspond à un glacis sablo-argileux à argilo-sableux encroûté et une partie basse densément boisée qui correspond à une collature argilo à limono-sableuse (Leprun, 1983). Les formations de "brousse tigrée" ne sont pas présentes dans le Nordeste brésilien alors qu'elles se développent dans la région aride mexicaine (Cornet *et al.*, 1987).

h) *Le facteur humain* : les deux régions sont essentiellement rurales et ont une même densité moyenne de 16 habitants au km², mais présentent des composantes socio-économiques et des pratiques culturelles très différentes. Dans le Sahel l'agriculture et l'élevage sont pratiqués de manière primitive et extensive depuis plus de 2000 ans, la pratique du brûlis annuel avant culture et celle de la monoculture sont généralisées. Le bois est la seule source d'énergie utilisée. La physionomie actuelle des paysages sahéliens accuse l'impact de ces pratiques, de l'accroissement démographique et de ses corollaires, diminution des jachères, intensité de la coupe des ligneux et surpâturage.

Dans le Nordeste du Brésil les activités agricoles sont peu intenses et ont moins de 400 ans. L'agriculture et l'élevage ne sont pas itinérants et s'associent au niveau de propriétés privées protégées. Pratiquées à la main ou à l'aide de la traction animale légère, les cultures associent haricot, maïs, coton, agave. Le brûlis est rare et limité. Le charbon de bois, bien que produit sur place, n'est pas utilisé à la cuisine de tous les jours. L'accroissement démographique est largement réduit par l'exode rural.

Similitudes et particularités des facteurs de l'écologie Conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes

Les similitudes et les différences de facteurs influant sur l'écologie des deux régions sont consignées dans le tableau suivant :

Facteur	Nordeste brésilien	Sahel Ouest Africain
Situation géographique	continentalité peu accentuée au sud de l'Amazonie	continentalité accentuée au sud du Sahara
Climat	moins contrasté et chaud, air plus humide	plus contrasté et chaud, air plus sec, pluies plus érosives
Roches	crystallines dominantes, très peu altérées	sédimentaires dominantes, très altérées
Tectonique	active (surrection)	stable
Relief	ondulé, à affleurements, non dunaire, exoreïque	plat, sans affleurements, cuirassé, dunaire, endoreïque
Sols	plus argileux, peu épais, riches, perméables, non encroûtés	sableux, épais, kaoliniques, désaturés, encroûtés
Eaux	minéralisées	peu minéralisées
Ruissellement	faible	fort
Végétation	forêt basse continue ligneuse, régénération forte	savane ouverte graminéenne, brousses contractées fragiles
Activités humaines	récentes, cultures et élevage fixés	anciennes, brûlis annuel, cultures itinérantes, surpâturage

Les conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes sont les suivantes :

L'écosystème "caatinga", caractéristique du Nordeste semi-aride (pluviométrie entre 250 et 800 mm/an) peut être considéré comme en équilibre avec les conditions du milieu ou climacique. Les propriétés physiques favorables des sols déterminées par une texture franche, une bonne stabilité structurale due à cette texture, à des teneurs en matière organique moyennes supérieures à 2 %, à un complexe absorbant bien pourvu en cations Ca et Mg, permettent une bonne infiltration de l'eau.

L'humidité du sol se conserve longtemps en raison : a) du pouvoir évaporant moindre de l'air, b) de la densité et de la continuité du couvert végétal qui s'assèche mais continue de couvrir le sol en saison sèche, c) des quelques pluies qui peuvent tomber pendant cette saison sèche, d) de la présence de certains horizons, comme les horizons vertiqués qui laissent pénétrer l'eau dans l'arène sous-jacente, puis, en se gonflant, l'empêchent de s'évaporer (Molinier *et al.*, 1989). Cette humidité, la cohésion moyenne des sols et leur richesse chimique facilitent la pénétration des racines et confèrent aux plantes de la "caatinga" une facilité à reverdir après les premières pluies et un pouvoir de régénération remarquable. Certains arbres de port élevé comme le Juazeiro restent verts toute l'année car puisent dans les horizons aréniques profonds des sols.

Entièrement coupée, une "caatinga" primaire reconstitue rapidement une autre "caatinga" qui ne se distingue de la première que par l'absence de certaines espèces. Les essais de mise en valeur observés permettent d'avancer que l'écosystème "caatinga" est stable et ne passe à un agrosystème de manière permanente qu'après une profonde dégradation des qualités physiques des sols qui ne survient qu'après des années de cultures successives, en particulier lorsque ces cultures sont mécanisées. Des cultures abandonnées après 4 ou 5 ans retournent à une jachère qui va se transformer en "caatinga" monospécifique puis, lentement, à une "caatinga" secondaire dont la taille dépendra essentiellement de la qualité des sols.

Le fonctionnement de l'écosystème "brousse tigrée" sahélien (Fig. 2) a été étudié par ailleurs (Leprun, 1989b).

La formation, la persistance et l'évolution de ces formations sont soumises à plusieurs facteurs : a) une pluviométrie annuelle supérieure à 200 et inférieure à 500 mm, b) la nature sédimentaire du substrat et la pente du plancher de ce substrat qui doit être inférieure à 4 %, c) à une épaisseur du sol inférieure à 1 m., d) à une direction NE des vents dominants de saison sèche, e) à un endoréisme local et régional strict.

L'ensemble de la formation est contrôlé par une dynamique latérale rapide (quelques décimètres par an) : les eaux de pluie érodent la surface du glacis nu et dépose le matériel arraché dans la collature, ce matériel sableux est repris par le vent et va former la microdune qui est colonisée par la strate herbue annuelle mais qui sera déplacée durant la saison sèche. Ce déplacement dans le sens du vent anime toutes les bandes, y compris la bande boisée qui va suivre les déplacements successifs de la collature humide vers le glacis et la microdune. Issue de l'action combinée de l'érosion hydrique et éolienne la "brousse tigrée" sahélienne constitue un écosystème fragile face aux aléas climatiques. Modifiées par l'homme et en particulier soumises à la pâture et à la machette des éleveurs, ces

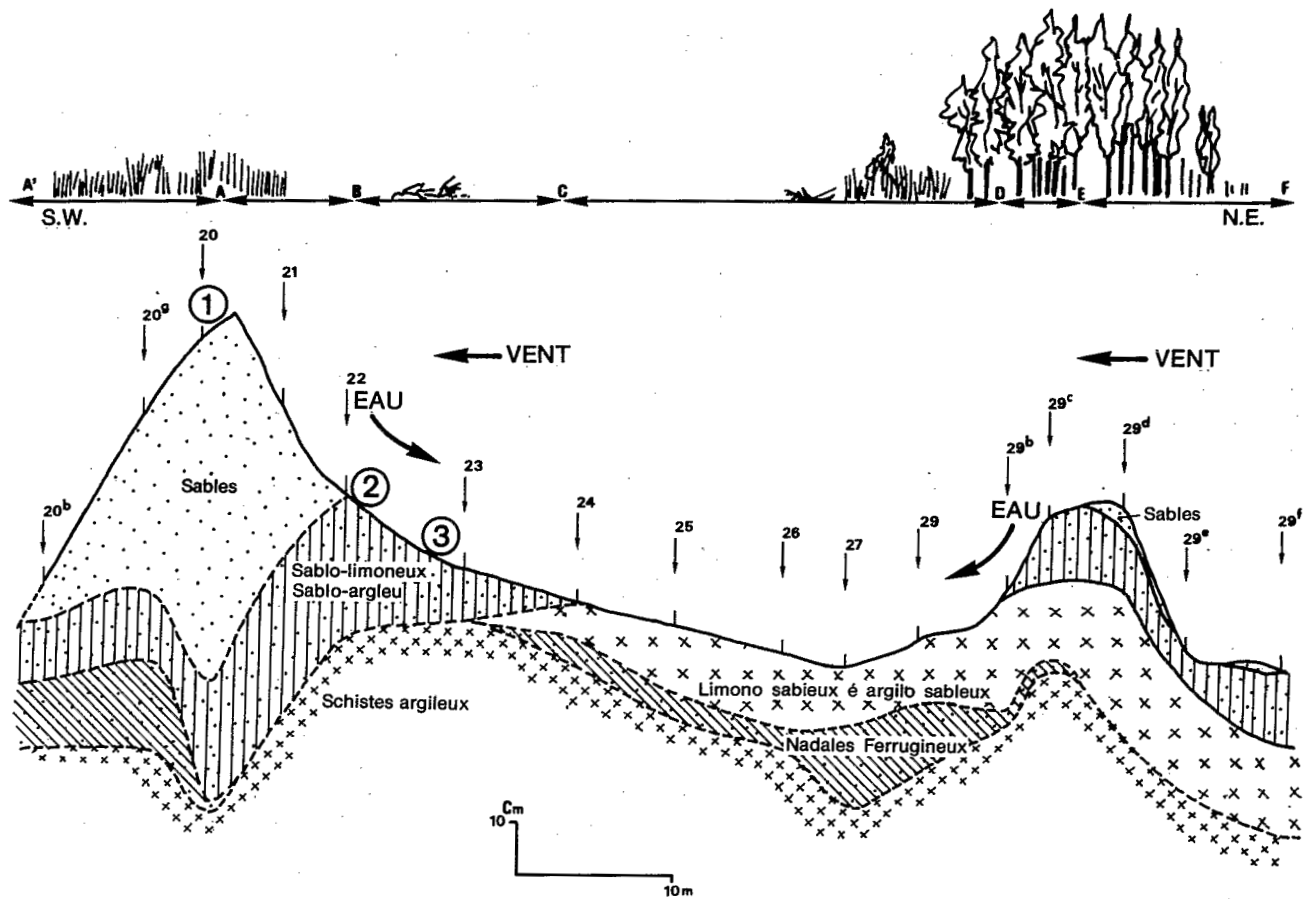


Fig. 2. Chaîne de sols d'une "Brousse tigrée" (COSII, Mali).

formations, en particulier les plus septentrionales, peuvent disparaître rapidement. Celles situées plus au sud subsistent quelques années aux dégradations dues au surpâturage, mais une ou plusieurs années de sécheresse leur sont généralement alors fatales. Une "brousse tigrée" coupée et défrichée pour une mise en valeur agricole quelconque ne se reconstitue pas.

Conclusions

Les deux écosystèmes semi-arides considérés ici sont très différents. L'écosystème "caatinga" brésilien constitué d'une formation végétale continue, non contractée, est, grâce aux éléments favorables du milieu un écosystème fermé, adapté, stable, en équilibre, reconstituable, relativement résistant, qui évolue sur place.

La biocoenose "brousse tigrée" sahélienne, dont la structure contractée de la végétation est issue et obéit à une dynamique latérale, constitue un écosystème ouvert, en déséquilibre avec les conditions actuelles du milieu et donc très fragile vis-à-vis des agressions climatiques et humaines. Elle représente une niche écologique humide subsistant dans des régions plus sèches au nord de son aire.

Bibliographie

- Chevalier, P.**, 1982. Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi-Haute-Volta). *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, 9 (4), 253-297.
- Cornet, A., J.P. Delhoume et C. Montaña**, 1987. Vegetation patterns and soils in Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico). I-Vegetation arcs. Contributed papers of the Second symposium on resources of the Chihuahuan desert region, Alpine, Texas, 20-23 oct. 1983, series of the C.D.R.1,13, 18 p.
- Janke, B.** 1876. Zum problem der Vegetationsstreifen (Brousse tigrée) im demiariden Afri. Geologische Untersuchungen in West-Niger. *Die Erde*, 107, pp. 31-46.
- Leprun, J.C.** 1983. Sols et relations sol-végétation. In: rapp. DGRST. Etude des potentialités pastorales et de leur évolution en milieu sahélien au Mali. DGRST éd. Paris. 114 p.
- Leprun, J.C.** 1981. A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste brasileiro. Balaço, diagnóstico e novas linhas de pesquisas. *Sudene, sér. Recursos de solos*, 15, Recife, 107 p.
- Leprun, J.C.** 1985. La conservation des sols dans le Nord-est brésilien. Particularités, bilan et perspectives. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 21 (4), 39-66.

- Leprun, J.C.** 1989a. Analogies et particularités des sols et des eaux de deux régions semi-arides, le Sahel de l'Afrique de l'Ouest et le Nord-est brésilien. *In* : L'aridité : une contrainte au développement, caractérisation-réponses biologiques-stratégies des sociétés. Ouvrage de synthèse RZA-CNRS (sous presse).
- Leprun, J.C.** 1989b. Etude de quelques "brousses tigrées" sahéliennes: structure, dynamique, écologie. *In*: L'aridité : une contrainte au développement, caractérisation-réponses biologiques-stratégies des sociétés. Ouvrage de synthèse RZA-CNRS (sous presse).
- Molinier, M., P. Audry, J. Ch. Desconnets et J.C. Leprun** 1989. Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale. Rapport final. ATP-PIREN-ORSTOM, Recife, 25 p, annexes 56 p.

DYNAMIQUE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES SAHELIENS LE CAS DE LA MARE D'OURSIS (BURKINA FASO)

Michel Grouzis

Resumen

Después de haber recordado las principales condiciones que determinan la degradación de las tierras del Sahel, este trabajo se propone con la ayuda de las investigaciones realizadas sobre la estructura, la productividad y la dinámica de los sistemas ecológicos sahelianos (Charca de Oursi, Burkina Faso), de evaluar las capacidades de regeneración de la vegetación natural sometida a las condiciones de sequía intensa y protegida de las actividades humanas.

Con este fin, seis unidades de vegetación correspondiente a diferentes tipos de suelos y de utilización estuvieron protegidas del ganado durante cinco años. Las variaciones temporales y anuales de la fitomasa herbacea aérea y los coeficientes de eficacia pluviométrica estuvieron determinadas.

Las diferentes características de estructura y de dinámica actual asociadas con ciertos aspectos de la dinámica histórica (evolución climática, ocupación antigua) permitieron elaborar un modelo dinámico del sistema ecológico saheliano. Este muestra que este sistema ecológico es de una gran complejidad que, bajo una relativa homogeneidad fisionómica, oculta una grande diversidad florística, estructural, funcional y evolutiva. Bajo el efecto conjugado de la sequía y sobre todo de la antropización, este sistema está el sitio de procesos de degradación conduciendo a su desertificación progresiva.

Algunos ejes prioritarios de investigaciones (definición del equilibrio ecológico, umbrales de rupturas, condiciones de regeneración) están ahora propuestos.

Résumé

Après avoir rappelé les principales conditions qui déterminent la dégradation des terres au Sahel, ce travail se propose à l'aide des investigations réalisées sur la structure, la productivité et la dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso), d'évaluer les capacités de régénération de la végétation naturelle soumise à des conditions de sécheresse intense et protégée des activités humaines.

A cet effet, six unités de végétation correspondant à différents types de sol et d'utilisation ont été protégées du bétail pendant cinq années. Les variations saisonnières et annuelles de la phytomasse herbacée épigée et les coefficients d'efficacité pluviométrique ont été déterminés.

Les différentes caractéristiques de structure et de dynamique actuelle, associées à certains aspects de la dynamique historique (évolution climatique, occupation ancienne) ont permis d'élaborer un modèle dynamique du système écologique sahélien. Celui-ci montre que ce système écologique est d'une grande complexité qui, sous une relative homogénéité physiologique masque une grande diversité floristique, structurale, fonctionnelle et évolutive. Sous l'effet conjugué de la sécheresse et surtout de l'anthropisation, ce système est le siège de processus de dégradation conduisant à sa désertisation progressive.

Quelques axes prioritaires de recherche (définition de l'équilibre écologique, seuils de rupture, conditions de régénération) sont alors proposés.

Summary

In most arid and semi-arid zones primary production is limited by water budget and intensive anthropogenic pressure. The sahelian zone is marked by an irregular and persistent downward rainfall trend which began about in 1968. The vegetation has been subjected to extensive overgrazing for several decades and is generally degraded.

The investigation reported herein was carried out within the framework of a large programme on the structure, productivity and dynamics of sahelian ecological systems (Oursi Pond watershed, BURKINA FASO). The scope of the research was to measure the capacities for regeneration of native vegetation protected from human activities, mainly overgrazing, under severe sahelian climatic conditions.

For this purpose, six units of vegetation corresponding to different types of soil and land use were entirely protected from domestic herbivores during five years. The seasonal and annual variations of aboveground herbaceous phytomass and rain use efficiency have been assessed.

The structural features and present day dynamic characteristics as well as some aspects of past dynamics (climatic evolution, ancient landuse...) avail the design of a sahelian ecological system dynamics model. This model shows that, in spite of conspicuous homogeneity, this system has a large floristic, structural, fonctionnal and dynamic diversity. As a result of persistent drought and human degradation this ecological system evolves towards desertisation.

Some priorities in research programmes (process of establishing equilibrium in sahelian ecosystem, limits of its upsetting process of regeneration and rehabilitation conditions are then proposed.

Introduction

Le Sahel est la frange sub-saharienne qui s'étend de l'Atlantique à la Mer Rouge entre les isohyètes 100 mm et 600 mm. Cette bande, large de 400 à 600 km, s'étire sur une longueur de l'ordre de 6000 km et couvre ainsi une superficie de 3 millions de km² (Le Houérou, 1989).

Cette zone éco-climatique subit une forte dégradation liée d'une part à un processus d'aridification (Michel, 1984) et d'autre part aux activités humaines qui accentuent les effets des conditions climatiques déjà défavorables (Grouzis et Albergel, 1989).

Après avoir rappelé les principales conditions qui déterminent l'extension des surfaces dégradées au Sahel, ce travail se propose, à l'aide des travaux réalisés sur la structure, la productivité et la dynamique des systèmes écologiques de la Mare d'Oursi (nord du Burkina Faso, Grouzis, 1988), d'évaluer les capacités de régénération de la végétation. Un modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens est proposé.

Le contexte sahélien

La sécheresse

Les études relatives à l'évolution de la pluviométrie révèlent que les pays de la zone soudano-sahélienne accusent des déficits hydropluviométriques particulièrement intenses (Nicholson, 1981, Olivry, 1983, Albergel *et al.*, 1985, Snijders, 1986). Cette période de sécheresse qui s'est installée à la fin des années soixante se singularise des autres sécheresses connues (1913, 1931, 1939...) par sa durée (plus de 18 ans de déficit pluviométrique dans certaines stations), son ampleur (fréquence élevée d'années exceptionnellement sèches) et son extension géographique (les zones méridionales présentent les mêmes caractéristiques).

Les conséquences de cette période de sécheresse sur les grands systèmes hydrologiques sont rappelées par Albergel (1988), à savoir : effondrement des débits des grands fleuves (Sénégal, Niger), bouleversement des systèmes lacustres (Lac Tchad), baisse généralisée des nappes aquifères.

Ce sont là des conditions particulièrement défavorables à la régénération de la végétation.

L'emprise humaine

Les zones sahéliennes sont actuellement caractérisées par une forte croissance démographique (2,5 à 3 % an⁻¹). Estimée à 35 millions d'habitants en 1984, la population sahélienne atteindrait 70 millions d'ici 25 ans si les tendances actuelles se maintiennent.

Pour faire face aux besoins de cette population en pleine expansion et combler un déficit céréalier global qui s'accroît à un rythme de 5 % l'an, des techniques extensives d'exploitation sont développées car les rendements évoluent peu (Grouzis et Albergel, 1989). Les cultures s'étendent aux dépens des jachères, des bas-fonds et des zones d'aptitude culturale souvent marginale et sensibles à l'érosion. Ainsi Dewispelaere et Toutain (1976) notent pour le Sahel burkinabé, entre 1955 et 1975, un accroissement des surfaces cultivées au rythme de 2,25 % par an, chiffre très voisin de la croissance démographique.

Sur le plan pastoral la logique est comparable. L'éleveur tend à augmenter l'effectif du cheptel pour accroître les chances de reconstitution

du troupeau en cas d'accident climatique. De ce fait le milieu surexploité n'est plus en mesure de répondre aux besoins du bétail. C'est ainsi que la production herbacée du bassin versant de la Mare d'Oursi ne permet d'assurer l'entretien du bétail qu'une année sur deux (Grouzis, 1988).

L'empreinte de l'homme sur le milieu n'est pas uniquement due aux activités actuelles mais relève aussi de l'histoire. En effet cette région a été largement occupée pendant la première moitié du premier millénaire après J.C. (1900 à 1375 avant nos jours). Les vestiges témoignent d'une occupation sédentaire relativement dense reposant sur une activité agricole (Grouzis, 1988, Barral, 1977).

Ces systèmes d'exploitation caractérisés par une consommation d'espace, associés à la contrainte sécheresse induisent globalement une dégradation du milieu : remobilisation des sables, extension des terres stériles.

Dans ce contexte globalement défavorable on peut se demander quelles sont les capacités de régénération de ces systèmes écologiques.

Les capacités de régénération des systèmes écologiques sahéliens : le cas du bassin versant de la Mare d'Oursi

Ce bassin se situe au nord du Burkina Faso, entre les parallèles 14° 20' et 14° 50' N et les méridiens 0° 10' et 0° 40' W. La moyenne des précipitations annuelles (1976-1984) est de 368 mm. Elles se répartissent en 39 jours mais près de 90 % des précipitations tombent entre les mois de juin et de septembre. La moyenne annuelle de l'ETP est 8 fois plus élevée que celles des précipitations (Chevallier *et al.*, 1985).

Six unités de végétation correspondant à différents types de sol et d'utilisation (tableau 1) ont été entièrement protégées de l'action des herbivores domestiques pendant 5 années. Le potentiel de régénération naturelle a été apprécié sur ces unités et leurs témoins par l'évolution de certains paramètres caractéristiques de la végétation (Grouzis, 1988).

Les effets de la mise en défens, largement positifs dans les sites peu ou moyennement dégradés se répercutent sur la structure de la végétation, la composition floristique, la production et la dynamique de la strate ligneuse.

TABLEAU I
CARACTERISTIQUES DES UNITES DE VEGETATION ETUDIEES

<i>Site</i>	<i>Nom</i>	<i>Géomorphologie</i>	<i>Utilisation</i>
Oursi	Ams	dune, sables éoliens	pâturage de saison sèche
Kolel	Cep	piémont, sables éoliens, erg récent	pâturage de saison sèche, zone de cultures
Gountoure	Ase	pédiplaines à plaquages sableux	pâturage de fin de saison des pluies, pâturage arbustif en saison sèche
Kouni	Sgl	glacis de transit, sol limoneux à surface "glacée"	pâturage de fin de saison des pluies
Bas Kolel	Sgr	glacis de bas de pente	pâturage de fin de saison des pluies
Winde	Spt	glacis d'épandage, sols vertiques	pâturage de début de saison des pluies, zones de cultures du sorgho

Les effets sur la structure

Sur le plan structural, la protection engendre une augmentation de l'hétérogénéité et du recouvrement notamment dans les glacis de transit à sol lourd. En effet, un effet cumulatif permet aux éléments de végétation haute et dense des zones favorables de s'étendre car la paille constitue un obstacle au sable et aux diaspores.

Les effets sur la composition floristique

Sur le plan floristique, la protection se manifeste généralement par un accroissement de la richesse floristique. Dans certaines unités (glacis de bas de pente) celle-ci double pratiquement en cinq années de protection. Dans les autres unités (dunes, piémont, glacis) les tendances sont difficiles à dégager en raison des fluctuations interannuelles élevées.

La suppression du pâturage permet aussi l'extériorisation des phénomènes de compétition interspécifique. A titre d'exemple, les résultats relatifs aux unités Spt et Sgr sont donnés sur les figures 1 et 2.

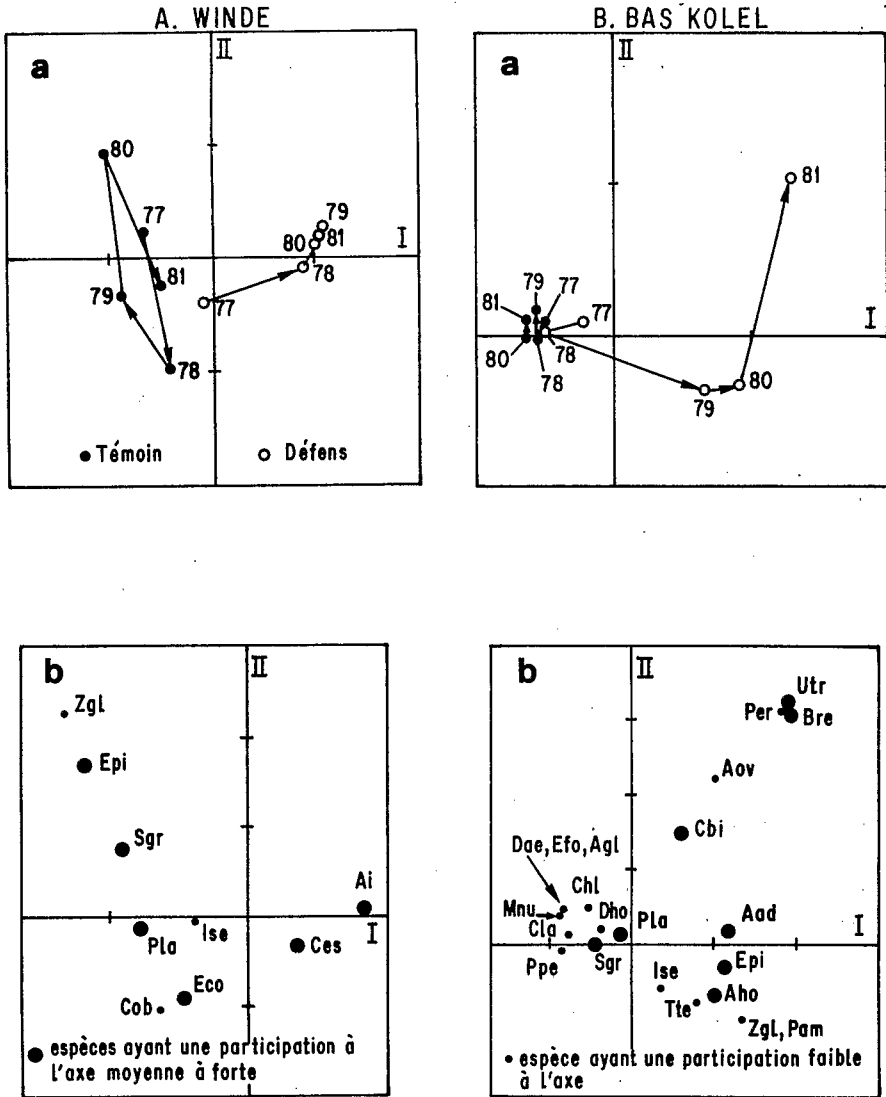


Fig. 1. Analyse diachronique de la végétation. Diagramme des relevés (a) et diagramme des espèces (b) dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR. La ligne qui relie les différentes dates (cheminement) traduit les phases successives de l'évolution de la végétation.

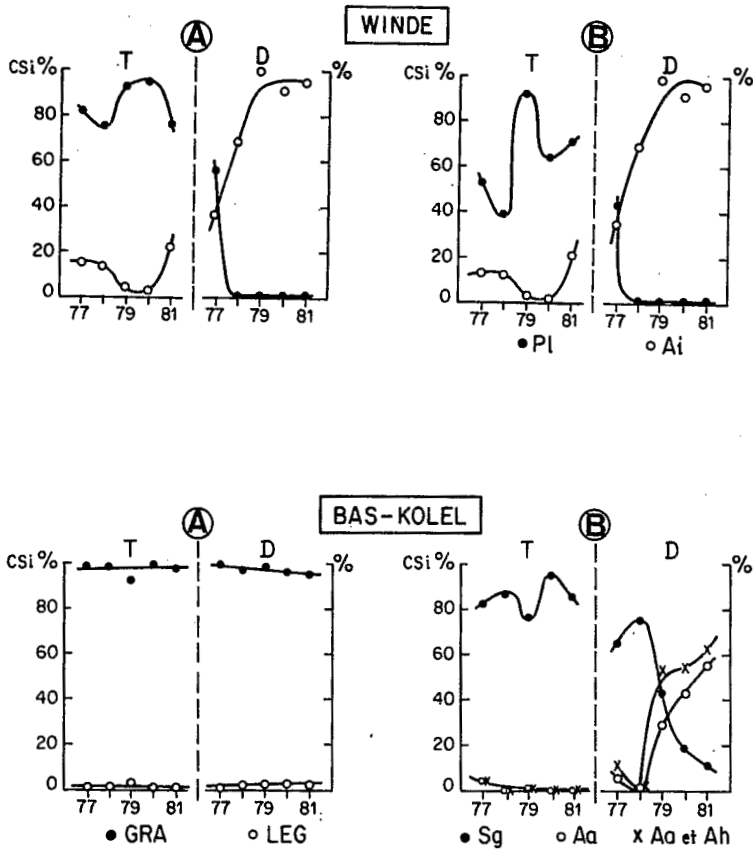


Fig. 2. Variations interannuelles de la contribution spécifique (CS %) des familles (A) et des espèces principales (B) dans les conditions actuelles (T) et de mise en défens (D).
 GRA, LEG : graminées, légumineuses; Pl : *Panicum laetum*, Ai : *Aeschynomene indica*;
 Sg : *Schoenefeldia gracilis*; Aa : *Aristida adscensionis*; Ah : *Aristida hordeacea*.

L'examen des diagrammes des relevés et des espèces dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse des correspondances (Fig. 1) révèle une évolution temporelle très différente de la végétation des parcelles protégées et des parcelles témoins. A Windé l'équilibre semble être atteint dès la deuxième année de mise en défens, alors que la végétation continue à évoluer après 5 années de protection à Bas Kolel.

L'approche analytique (Fig. 2) montre que les graminées de la station de Windé sont complètement inhibées par le développement des légumineuses. Au niveau spécifique cela se concrétise par le total remplacement de *Panicum laetum* par *Aeschynomene indica*. Aucune différence ne s'observe dans les variations interannuelles des contributions spécifiques des graminées et des légumineuses des deux traitements de l'unité Sgr de Bas Kolel. Par contre au niveau spécifique, il apparaît que la contribution spécifique de *Schoenefeldia gracilis*, qui se maintient entre 76 et 95 % dans le témoin, chute dès la 3^{ème} année de protection au profit des *Aristida*, en particulier *Aristida adscensionis*.

L'ensemble des résultats relatifs à ces variations floristiques (Grouzis, 1988; Toutain et Piot, 1980) montre qu'en général les graminées (*Schoenefeldia gracilis*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida sieberana*) sont favorisées par la protection dans les unités de végétation établies sur sables, alors que les légumineuses sont avantagées par la mise en défens dans les unités des sols lourds. C'est ainsi que *Schoenefeldia gracilis*, espèce ubiquiste de la région, a une nette tendance à être remplacée par d'autres espèces : *Aristida adscensionis*, *Aristida funiculata*, *Aristida hordeacea* et *Aeschynomene indica* qui élimine aussi *Panicum laetum*.

Les effets sur la production

L'influence de la protection sur la production varie en fonction de l'unité de végétation considérée et de la période d'exploitation (Grouzis, 1988).

Sur les unités de végétation exploitées en saison sèche telle que Oursi (Fig. 3), les différences en terme de production annuelle ne sont pas significatives bien que la phytomasse des stations protégées soit largement supérieure à celle des parcelles témoins : pente de 0,94 pour Oursi, valeurs comparables et non significativement différentes des productivités annuelles (tableau 2).

TABLEAU 2
MOYENNES INTERANNUELLES (1977-1981) DE LA PRODUCTIVITE ($\text{g}_{\text{MS}}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$)
DES UNITES PROTEGEES (D) ET TEMOINS (T).

Unités	Ams		Cep		Ase		Sgl		Sgr		Spt	
Traitement	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T
Productivité	2,7	2,9	3,1	3,2	2,3	1,0	1,6	1,0	2,0	1,5	4,9	20

Dans les unités de végétation qui constituent les pâturages de saison des pluies (Ase, Sgl, Sgr, Spt), la protection de la végétation favorise la croissance et entraîne une augmentation sensible de la production des parcelles protégées qui est 1,5 à 2,5 fois plus élevée que celle des parcelles témoins (Fig. 3 et tableau 2).

Cette différence de production se retrouve aussi au niveau des efficacités en eau (Fig. 4). Quel que soit le mode d'expression retenu (RUE par mm de pluie ou WUE par mm d'eau infiltrée) les unités pâturées pendant la saison de végétation se séparent nettement des unités exploitées pendant la saison sèche. Pour le premier groupe (Gountouré, Kouni, Bas Koleh et Windé) il est possible de calculer une droite de régression commune, significative à 1%, et montrant que l'efficacité en eau de la végétation des parcelles protégées est environ 2 fois plus élevée que celle des parcelles témoins. Pour le deuxième groupe (Oursi, Koleh), la répartition des points représentatifs autour de la bissectrice suggère qu'aucune différence ne s'observe entre les deux traitements.

Les effets sur la strate ligneuse

L'effet de la protection de la végétation se manifeste aussi sur la strate ligneuse : apparition de nouvelles espèces (*Boscia angustifolia*, *Grewia tenax*, *Maerua crassifolia*), augmentation de l'effectif (1,5 à 5 % par an), meilleure croissance (Grouzis, 1988).

Les effets de la réhabilitation

Dans diverses situations au Sahel, il s'avère qu'après une dégradation

trop importante du milieu la régénération spontanée de la végétation est impossible.

Cependant les nombreux travaux de réhabilitation des systèmes écologiques consistant en une simple action mécanique par travail superficiel du sol (sous-solage, hersage) permettent de montrer qu'un léger travail autorise l'installation de la végétation herbacée à l'emplacement du passage des outils et une augmentation localisée de la production allant de 20 à 100 $\text{g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$. De plus, de nombreux ligneux (*Acacia*, *Ziziphus*, *Balanites*...) lèvent sur les lignes de sous-solage (Toutain, 1977; Toutain et Piot, 1980; Le Masson, 1980). De même, des reboisements en espèces autochtones (*Acacia ssp*, *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritiana*...) réalisés après travail du sol ont montré des taux de reprise supérieurs à 75 % (Grouzis, 1988).

Fig. 3. Variations interannuelles (1978-1981) de la phytomasse des parcelles protégées (i) en fonction de celle des témoins (e) pour trois unités de végétation différemment exploitées. Les figurés correspondent aux observations de chaque année.

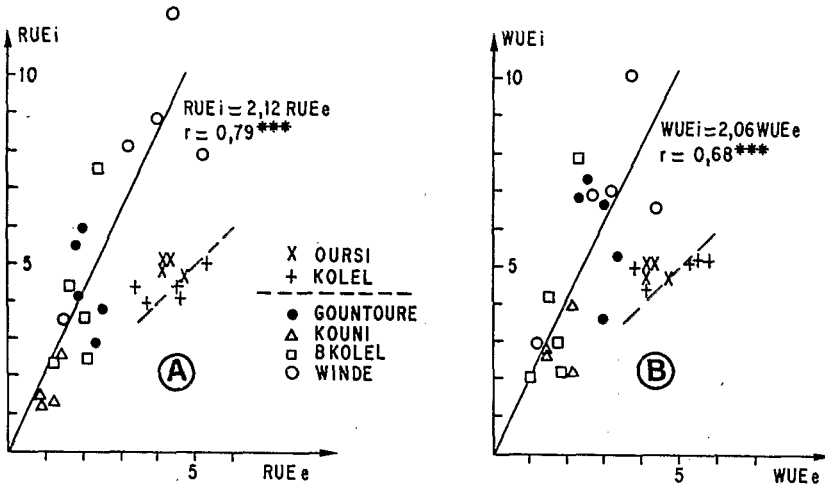


Fig. 4. Relation de l'efficience en eau des parcelles protégées par rapport aux témoins.
 RUE : $kg_{MS}.ha^{-1}.mm^{-1}$ de pluie; WUE : $kg_{MS}.ha^{-1}.mm^{-1}$ de pluie infiltrée.

Cette caractéristique suggère que le potentiel biologique existe et que l'amélioration de certains facteurs physiques suffit à sa manifestation.

Les résultats relatifs aux effets de la mise en défens et des divers aménagements soulignent la fragilité de l'équilibre des écosystèmes sahéliens, leur grande sensibilité aux interactions des différents facteurs et leurs réelles capacités de régénération. La végétation actuelle qui diffère de la végétation potentielle sur les plans de la floristique et de la productivité résulte de l'anthropisation. La pression humaine, très forte dans la région considérée engendre des états d'équilibre très instables caractérisés par une flore relativement pauvre et par des faibles niveaux de productivité.

Dynamique des systèmes écologiques sahéliens

Ces conclusions nous conduisent à proposer un modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens, extrapolables aux systèmes écologiques de zones arides subissant une forte perturbation anthropique, est représenté sur la figure 5.

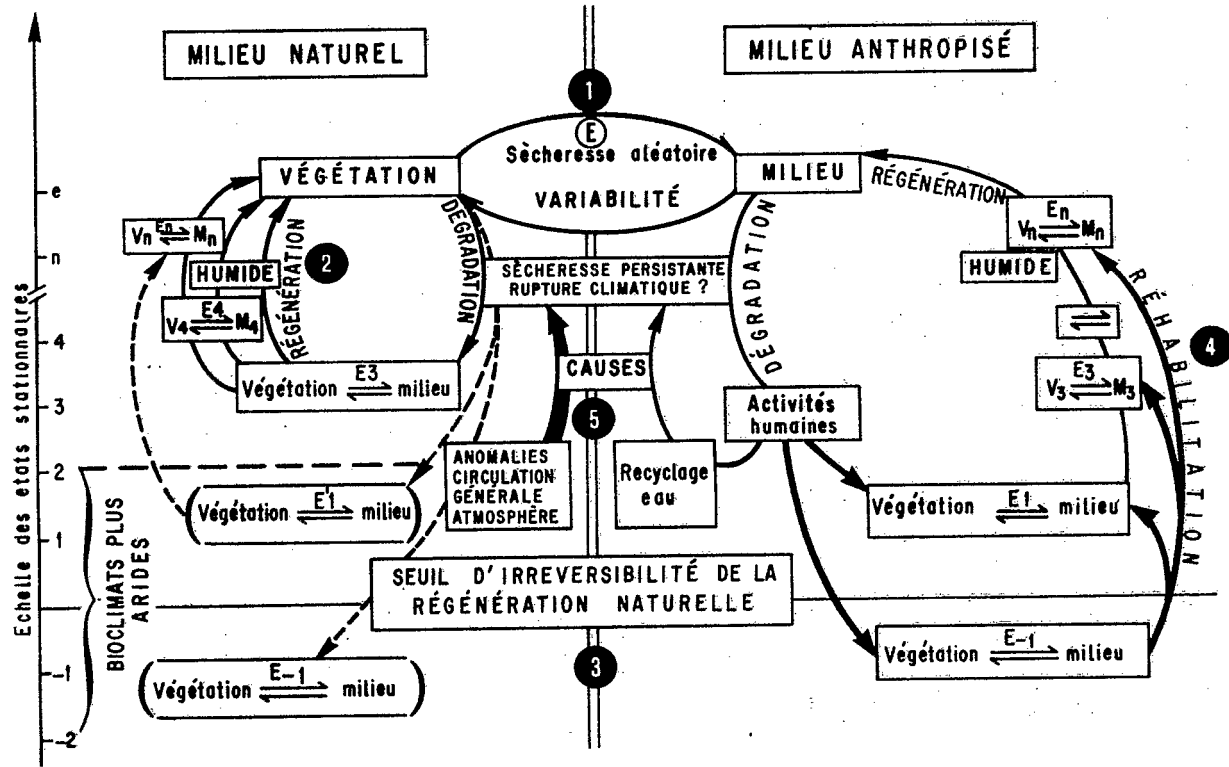


Fig. 5. Modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens.

Lorsque les facteurs qui agissent sur la dynamique d'une phytocénose ne répondent qu'à des fluctuations aléatoires, il s'établit entre la végétation et le milieu un état d'équilibre (E) se traduisant par une structure de végétation (grande diversité floristique, organisation en mosaïque, niveau de production élevé...). Il existe peu ou pas d'exemple de cet état car les milieux naturels au Sahel font défaut, mais des états comparables ont été décrits par Benoit (1984) et Boudet (1983) dans des régions faiblement anthropisées du Burkina Faso et de la Mauritanie. Le résultat issu de la mise en défens de la station de Windé s'en rapprocherait aussi (Cf. Fig. 1 à 4).

Lorsque l'un des facteurs de l'équilibre subit une modification importante (perturbation climatique telle que la sécheresse persistante décrite au Sahel), l'équilibre est rompu et le système s'écarte de son état habituel. Il évolue vers un nouvel équilibre (E3) correspondant à une autre structure de végétation. En milieu sahélien peu ou pas anthropisé, l'effet de la sécheresse se manifeste par exemple par une modification de l'organisation de la végétation. On observe une contraction des ligneux (Courel, 1985) traduisant une adaptation à des conditions hydriques plus défavorables.

Lorsque la pression cesse le retour à l'état initial (régénération) s'effectue soit directement soit par des états intermédiaires (E4, En...), Les étapes intermédiaires du cheminement des images de la végétation dans les expériences de mise en défens pourraient illustrer ces états (Cf. Fig. 1).

En milieu anthropisé l'itinéraire est identique. Cependant le nouvel équilibre se situe à un niveau beaucoup plus bas de l'échelle des états (E1), car aux effets de la contrainte naturelle (sécheresse) sont venus s'ajouter les effets aggravants des perturbations anthropiques. Les phytocénoses étudiées à Oursi se situent dans leur grande majorité à ce niveau qui est caractérisé par une relative pauvreté floristique et un faible niveau de productivité. Dans ces conditions le retour à l'état initial (régénération) nécessite un cheminement beaucoup plus long que dans le cas d'un milieu naturel, car les capacités de stabilisation du système (Blandin, 1980) qui dépendent des espèces constituant la phytocénose, de leurs propriétés, de leur agencement et des disponibilités du milieu (énergie, éléments biogènes) sont moins élevées. De plus, les risques de nouvelles perturbations au cours de ce long cheminement sont importants.

Des conditions de dégradations intenses en relation avec une forte et souvent ancienne occupation humaine peuvent conduire à des niveaux (E-1) dépassant les seuils à partir desquels la régénération naturelle est impossible. Le retour à des états stationnaires plus favorables et à terme à l'état initial ne peut alors se réaliser que par des aménagements :

amélioration des disponibilités du milieu (état de surface, bilan hydrique, fertilité..) et/ou amélioration du potentiel biologique (introduction d'espèces par semis, reboisement..).

Ces niveaux de dégradation sont très fréquents dans les milieux fortement anthropisés. Ils s'observent aussi en milieu naturel dans des bioclimats plus arides que ceux étudiés dans la région de la Mare d'Oursi.

Conclusion

Dans un contexte climatique plutôt défavorable nous avons pu mettre en évidence dans la région considérée, de réelles capacités de régénération et une vitalité de la végétation qui se manifestent dès la première année de mise en défens par :

- une augmentation de l'hétérogénéité et du recouvrement de la végétation,
- un accroissement de la richesse floristique et une extériorisation des phénomènes de compétition interspécifique,
- des niveaux de production plus élevés dans les unités exploitées en saison des pluies.

Dans les systèmes écologiques fortement dégradés (recouvrement herbacé faible à nul, strate ligneuse pratiquement inexistante, sol érodé...) dans lesquels la régénération naturelle par protection ou mise en repos temporaire n'est plus possible en raison de la faiblesse du potentiel de régénération, un travail du sol associé ou non à un reboisement permet de restaurer le milieu. Tout comme les travaux de Adam (1967), Boudet (1977), Benoit (1984), ces résultats montrent que la végétation sahélienne, placée dans des conditions particulières (charge faible à modérée, pluviométrie favorable...), a de réelles capacités de régénération. Des cas semblables de remontée biologique ont été rapportés par Noble (1977) dans les zones arides australiennes ou par Floret (1981) dans les steppes du sud tunisien.

Pour ce qui concerne la zone sahélienne, ces capacités de régénération résident dans les caractères d'adaptation des espèces et des structures de végétation à la sécheresse et à la variabilité des conditions édapho-climatiques : dominance de thérophytes, d'espèces arido-passives, caractères physiologiques liés aux propriétés germinatives des semences, à la forte proportion de plantes en C4, structure en mosaïque de la végétation... L'ensemble de ces caractères adaptatifs devraient permettre à ces phytocénoses de surmonter le risque climatique, si l'homme par sa pression

actuelle et historique n'engendrait des contraintes permanentes (dégradation des structures) venant aggraver les effets d'une sécheresse persistante depuis deux décennies.

Certains aspects de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens voire des zones arides restent insuffisamment connus. Les recherches devraient s'attacher à caractériser les mécanismes qui sous-tendent l'équilibre et la stabilité des systèmes écologiques. En conséquence les relations de compétition ou de complémentarité entre les différentes strates de la phytocénose, la détermination des seuils biologiques et trophiques permettant la régénération naturelle, constituent des axes prioritaires de recherches.

Ces recherches doivent aussi s'efforcer de définir les moyens de réhabilitation des milieux fortement dégradés par l'évaluation de l'impact à moyen terme des aménagements actuels et par l'étude de la biologie des espèces utilisables dans l'enrichissement du potentiel biologique des systèmes écologiques. La détermination des caractéristiques écophysiologiques des espèces ligneuses autochtones (phénologie, résistance à la sécheresse) en relation avec les propriétés améliorantes des sols (fixation d'azote) constituent des éléments à prendre en considération.

Bibliographie

- Adam, J.G.** 1967. Evolution de la végétation dans les sous-parcelles protégées de l'UNESCO-IFAN à Atar (Mauritanie), *Bull. IFAN*, XXIX, sér. A, 1, 92, 106.
- Albergel, J.** 1988. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m² au km², étude des paramètres hydrologiques et leur évolution. *Etudes et Thèses*. ORSTOM, Paris, 341 p.
- Albergel, J., J.P. Carbonnel et M. Grouzis**, 1985. Péjoration climatique au Burkina Faso. Incidences sur les ressources en eau et les productions végétales. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* 21(1): 3-19.
- Barral, H.** 1977. Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral. *Tr. et Doc. ORSTOM*, Paris, 77, 119 p.
- Benoit, M.** 1984. Le Seno-Mango ne doit pas mourir : pastoralisme, vie sauvage et protection au Sahel, *Mémoires ORSTOM*, Paris, 143 p.
- Blandin, P.** 1980. Evolution des écosystèmes et stratégies cénotiques. In : R. Barbault, P. Blandin, J.A. Meyer (eds.) Recherches d'écologie théorique. Les stratégies adaptatives. 221-234.

- Boudet, G.** 1977. Désertification ou remontée biologique au Sahel. *Cah. ORSTOM, sér. Biologie*, 12(4): 293-300.
- Boudet, G.** 1983. L'agropastoralisme en Mauritanie; perspectives de recherches. IEMVT, Maisons Alfort, 46 p.
- Chevallier, P., J. Claude, B. Pouyaud et A. Bernard.** 1985. Pluies et crues au Sahel : hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso, 1976-1981), *Tr. et Doc. ORSTOM*, Paris, No. 190, 251 p.
- Courel, M.F.** 1985. L'adaptation de la végétation sahélienne à la sécheresse récente : la contraction des ligneux. *Photo-Interprétation* 1, 2: 9-15.
- Dewispelaere G. et B. Toutain.** 1976. Estimation de l'évolution du couvert végétal en 20 ans consécutivement à la sécheresse dans le sahel voltaïque. *Photo Interprétation*, no. 3, 2, 8-18.
- Floret, Ch.** 1981. The effects of protection on steppic vegetation in the Mediterranean arid zone of southern Tunisia. *Vegetation*, 46: 117-129.
- Grouzis, M.** 1988. Régénération des systèmes écologiques sahéliens : Travail du sol et reboisement. In : I.A. Toure et M. Maldague (eds.) Séminaire Régional sur la Dynamique et l'évolution des Ecosystèmes Pastoraux Sahéliens, UNESCO, FAPIS, CIEM, pp. 341-347.
- Grouzis, M.,** 1988. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). *Etudes et Thèses ORSTOM*, Paris, 336 p.
- Grouzis M. et J. Albergel,** 1989. Du risque climatique à la contrainte écologique : Incidences de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. In : Eldin M. et Milleville P., (eds.), Le risque en agriculture, Collection *A travers champs*, ORSTOM, Paris pp. 243-254.
- Le Houérou, H.N.** 1989. The grazing land ecosystems of the African Sahel. *Springer-Verlag, Ecological Studies*, vol. 75, 210 p.
- Le Masson, A.** 1980. Situation de l'élevage bovin dans la sous-préfecture de l'Oudalan (Gorom-Gorom). Rapport d'activités 1977-1979. CIDR, No. 228, 177 p.
- Michel, P.** 1984. Les variations du climat au quaternaire récent dans le Sahel d'Afrique Occidentale et leurs conséquences sur les formations superficielles, l'hydrologie et la pédogénèse. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 18 (3-4): 125-146.
- Nicholson, S.E.** 1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought and wetter periods in West Africa. *Monthly Weather Review*, 109: 2191-2208.
- Noble, I.R.** 1977. Long term biomass dynamics in an arid chenopod shrub community at Koonamore South Australian. *Aust. J. Bot.*, 25: 639-653.
- Olivry, J.C.** 1983. Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, sér. hydrologie*, 20 (1): 47-69.

- Snijders, T.A.B.** 1986. Interstation correlation and non stationarity of Burkina Faso rainfall. *Journal of Climat and Applied Meteorology*, 25: 524-531.
- Toutain, B.** 1977. Essais de régénération mécanique de quelques parcours sahéliens dégradés. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop*, 30(2): 191-198.
- Toutain, B. et J. Piot.** 1980. Mises en défens et possibilités de régénération des ressources fourragères sahéliennes. Etude expérimentale dans le bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta), IEMVT-CTFT, Maisons Alfort, 156 p.

MODELISATION DE L'ECOULEMENT ET DE L'INFILTRATION D'UN SOL BRUN DU NORDESTE SEMI-ARIDE DU BRESIL

Michel Molinier
Pierre Audry
Jean Claude Leprun

Resumo

Este trabalho pretende estabelecer um modelo de simulação vertical da infiltração a partir do estudo detalhado dos caracteres dos solos e da análise da dinâmica da água dentro dos mesmos, através de medições de perfis neutrônicos e tensiométricos sob chuvas naturais e simuladas. Nesta finalidade foram efetuados estudos, com escala métrica, em um local agrupando três tipos de solos brunos não cálcicos e vertisols. Os dados e resultados coletados levaram a conhecer melhor a influência do solo e da vegetação sobre a infiltração e, logo, o escoamento; e assim definir um esquema de funcionamento desses solos brunos representativos de cerca de 15 % do Nordeste semi-árido. A partir desse esquema, evidenciando os diferentes fluxos de água, foi possível definir cada componente do modelo vertical. Além de simular o escoamento, a infiltração e as drenagens, a modelagem deve ser capaz de simular o efeito de escala. Por isso, é preciso interligar esses modelos verticais por leis de transferências laterais, integrando os resultados obtidos na bacia experimental de Sumé onde existe um conjunto de parcelas e bacias hidrográficas de 100 m² a 10 km².

Résumé

Le but de ce travail est de construire un modèle de simulation vertical d'infiltration à partir de l'étude détaillée des sols et de l'analyse de l'hydrodynamique grâce aux mesures tensiométriques et neutroniques sous pluies naturelles et simulées. Les données recueillies à l'échelle métrique (microparcelles de 1 m²) sur des sols bruns eutrophes et vertisols, ont permis de mieux connaître l'influence de ces sols et de la végétation sur les différents flux tels que l'infiltration, le ruissellement et les drainages. L'identification de ces flux a rendu possible l'établissement d'un schéma de fonctionnement de ces sols bruns représentatif de près de 15 % du Nordeste brésilien semi-aride. A partir de ce schéma, on a pu définir chaque composante du modèle de simulation vertical qui est une reproduction fidèle des observations et des mesures de terrain. En plus de simuler le ruissellement, l'infiltration et les drainages, ce modèle doit pouvoir simuler l'effet d'échelle observé et quantifier, tout au moins en ce qui concerne le ruissellement. Pour ceci, il est nécessaire d'interconnecter différents modèles verticaux par des lois de transferts latéraux, intégrant les résultats observés sur le bassin versant représentatif et expérimental de Sumé (Etat de la Paraíba), où existe un ensemble de parcelles et bassins versants de 100 m² à 10 km².

Abstract

The purpose of this paper is to draw up an infiltration vertical model from a detailed study of soils characteristics and the analysis of the corresponding water dynamics through the

measurement of neutronic and tensiometric profiles under natural and simulated rainfall conditions. Studies have been carried accordingly on the metric scale in a place where three types of noncalicic brown soils and vertisols are associated. The data collected and the results achieved permitted a better knowledge of the influence of soil and vegetation on infiltration and determined a operational pattern of those non-calicic brown soils which are representative of 15 % of the semi-arid Northeast. Thanks to this pattern which evidenced the different water flows, each component of the vertical model could be determined. Beside simulating the run-off, infiltration e drainage, the model must be able to simulate the scale effect. This requires that vertical models be interconnected by laws of lateral transfers through the integration of results obtained in the Sume experimental bassin where run-off plots and watersheds ranging from 100 sq.m to 10 sq.km are associated.

Introduction

Une partie des recherches réalisées sur le bassin versant représentatif et expérimental de Sumé dans le Sertão de la Paraíba (région Nordeste du Brésil), a pour but de mieux connaître l'organisation et l'hydrodynamique des sols bruns vertiques de cette région afin d'en valoriser le potentiel agronomique. Le but de ce travail, qui est un premier pas pour atteindre cet objectif, est de modéliser les différents termes du bilan hydrique en fonction des paramètres de l'écosystème étudié.

Dispositif Expérimental

Le dispositif expérimental comprend :

- 4 microbassins de 0,5 à 1 ha, 2 en sol nu et 2 sous végétation (il s'agit de la "Caatinga", forêt-taillis xérophyte arbustive et arborée de 2 à 5 mètres de hauteur);
- 9 parcelles de 100 m² avec différents traitements du sol et de la couverture végétale;
- 11 microparcelles de 1 m² parmi lesquelles 7 ont permis d'étudier le ruissellement et l'infiltration en fonction de l'humidité des sols et de la couverture végétale, et 4 autres, installées dans une parcelle de 750 m² localisées sur un versant, ont été utilisées pour la caractérisation d'une toposéquence et l'identification des flux.

Méthodologie

La méthodologie consiste, d'abord, à identifier les flux (ruissellement, infiltration et drainages) provoqués par une pluie (naturelle ou simulée) tombant sur un sol de superficie et de caractères connus, soumis à différents

traitements. Ces paramètres (surface, pédologie, géologie, couverture végétale) seront les paramètres explicatifs du modèle. Après l'identification des flux, la modélisation permettra de les quantifier, et ainsi évaluer le bilan hydrique après calage du modèle.

Les études sous pluies simulées (minisimulateur de pluie, tensiomètres et sonde à neutrons) ont permis :

- d'établir des relations entre la lame ruisselée (LR), l'averse responsable (P) et l'humidité préalable des sols représentée par un indice de pluie (IP);
- de mieux connaître l'intensité d'infiltration à travers l'horizon superficiel des sols;
- d'analyser la dynamique interne afin d'identifier les divers flux dans le sol et, ainsi, définir un schéma de fonctionnement de ces sols bruns.

Des études sous pluies naturelles sur les microbassins de 1 ha, sur les parcelles de 100 m², mais aussi sur les microparcelles de 1 m² ont permis de comparer les résultats obtenus dans les deux types d'expérimentation (pluies naturelles et simulées), et d'établir les mêmes relations $LR = f(P, IP)$ pour chaque superficie étudiée en fonction de la couverture végétale.

La dernière étape a été la mise au point d'un modèle simulant les flux (ruissellement, infiltration, drainages verticaux et latéraux) définis lors de l'analyse de la dynamique interne.

Les sols

Le type de sol dominant

Le sol brun non calcique vertique (brun eutrophe tropical vertique de la classification française), présente le profil moyen suivant : un horizon A de 20 cm d'épaisseur, brun-gris, sablo-argileux souvent plus ou moins caillouteux, à structure polyédrique à cubique et porosité moyennement développée; de 20 à 70 cm, un horizon (B), brun, argilo-sableux, à structure cubique et surstructure prismatique passant à massive et présentant des faces de décollement lissées, avec une porosité très fine extrêmement réduite et une cohésion forte à excessive; de 70 à 90 cm, un horizon (B) C, sablo-argileux, bariolé et tacheté, correspondant à l'altération d'un gneiss à amphibole.

Le passage aux autres sols

Localement, en position de légère dépression, on passe à un vertisol : le A, tel que défini ci-dessus, perd ses caractères, le B envahit le profil et présente des caractères vertiques plus marqués, encore que modestes. Le sol est, en général, plus profond, atteignant 1 mètre. L'altération est plus riche en ferromagnésiens identifiables; la roche, de texture plus fine, est de type amphibolitique.

En situation plus haute, au contraire, en position souvent balisée par une rupture de pente, par quelques chicots rocheux, ou correspondant à un ressaut ou à une crête mieux marquée, on passe à un sol brun eutrophe peu évolué, peu épais et caillouteux (50-70 cm), puis à un lithosol; le B a pratiquement disparu; le A envahit le profil et passe directement au C. La roche est leucocrate, de type pegmatitique à quartz et feldspaths (orthose).

Un des résultats importants des travaux réalisés dans le cadre de cette recherche est d'avoir confirmé l'importance de la roche dans le déterminisme des sols de cette région, de l'avoir précisé et d'en avoir tiré les conséquences sur le fonctionnement du système sol x végétation.

Les conséquences de la lithodépendance sur la morphologie et la distribution des sols

Il convient, d'abord, d'examiner la structure géologique. Les trois roches mentionnées, à savoir dans l'ordre croissant de richesse en bases et décroissant de dureté et résistance à l'altération : pegmatite quartzitique feldspathique, gneiss à amphibole, amphibolite, se présentent sur le terrain en couches parallèles dont l'épaisseur est d'ordre décimétrique (pouvant aller du cm au m), suivant une structure extrêmement plissée et faillée (Cf Fig. 1 représentant une coupe de 200 m de longueur). Si la succession des roches de la surface vers la profondeur correspond généralement à l'ordre décroissant de dureté énuméré ci-dessus, les successions verticales d'un point à un autre vont être extrêmement diversifiées du fait de la tectonique tourmentée.

Au point de vue morphologie et taxinomique ceci entraînera aussi une grande diversification. Il est fréquent d'observer sur une même verticale une succession d'horizons dérivés de roches différentes dont les contrastes sont seulement partiellement oblitérés par les phénomènes de pédoplasation et d'homogénéisation biologique. Une succession pegmatite/gneiss favorisera, tout naturellement, le développement d'un profil de sol brun vertique typique, mais les possibilités de combinaison sont

multiples et la géométrie des limites des horizons sera fréquemment oblique.

Ceci explique, en particulier, qu'entre les types brun vertique et brun peu évolué, pratiquement sans B argileux, existe toute une série d'intermédiaires de sols bruns non vertiques, présentant un B argileux plus ou moins différencié.

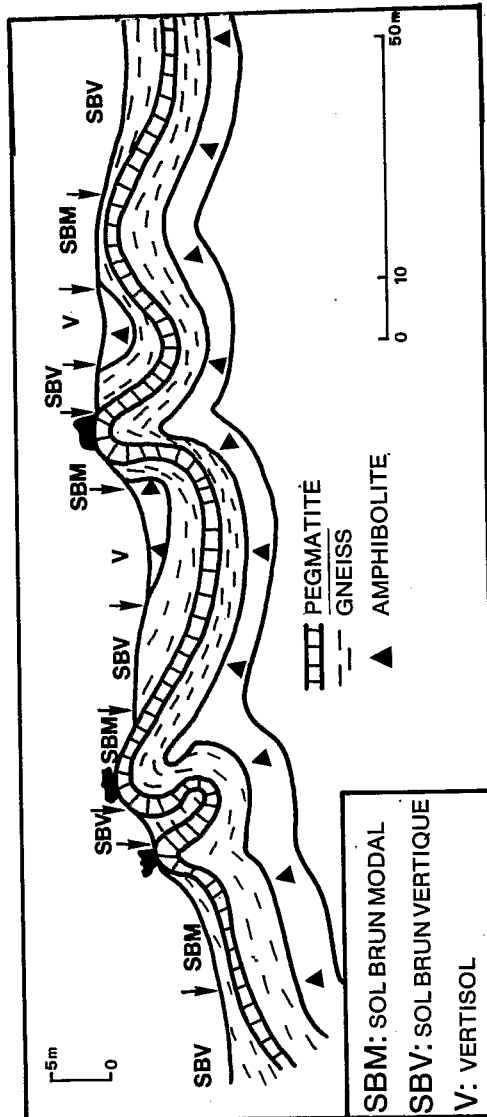


Fig. 1. Répartition des sols.

Au point de vue distribution des sols dans le paysage, il faut situer, à toutes les échelles, les conséquences de l'étroite dépendance mutuelle des horizons et des sols d'une part, et de la morphologie d'autre part, vis-à-vis de la structure géologique et de la nature des roches.

Le long des versants où dominent les sols bruns vertiques, toute occurrence de pegmatite sera marquée, au minimum, par un ressaut topographique et l'apparition de sols bruns modaux tandis que les microdépressions correspondront généralement à une roche plus basique, plus altérable et à des vertisols.

Il en sera de même au niveau des bassins versants : les lignes de crête correspondent à une ossature de la roche dure, et les hauts de versant présenteront une plus grande proportion de sols bruns modaux.

Identification des flux

Système de circulation

Dans ce système où les différenciations sont fortes, contrastées et rapides, les horizons ont été regroupés, schématiquement, en deux grands ensembles :

- *les horizons poreux et perméables.* Ce sont, d'une part, les horizons A des sols bruns vertiques et la totalité des sols bruns peu évolués passant aux lithosoliques, correspondant à l'altération de la pegmatite et d'autre part, les arènes d'altération du gneiss, sableuses, légèrement argileuses. Ces horizons ont une faible capacité de stockage pour l'eau, mais ce sont les conducteurs du système.

- *les horizons B, compacts, peu perméables.* Il s'agit des horizons B vertiques. Le taux important d'argile granulométrique, la présence d'argile gonflante et, fréquemment de taux de sodium adsorbé non négligeables, contribuent à faire de ces horizons des couches peu perméables, mais qui retiendront des quantités importantes d'eau quand elles se mouilleront.

Combinant ces caractères avec l'organisation spatiale précédemment décrite, on arrive au schéma de fonctionnement de la figure 2.

Pour conclure, on soulignera que la propre minéralogie des sols indique un stade d'évolution peu avancé et constitue un argument en faveur du fonctionnement actuel du système dans le sens du schéma proposé, où les seuls milieux confinés sont les microdépressions à vertisols; le système dans

son ensemble fonctionne en système ouvert : les A fonctionnent nettement à l'exportation; les B ont un comportement intermédiaire.

Ruissellement

- Relations pluie-ruissellement

Le dispositif expérimental (microparcelles de 1 m², parcelles de 100 m² et microbassins de 1 ha) a permis d'étudier le ruissellement à trois échelles de superficie sur sol nu et sous couverture végétale et d'établir des relations donnant la lame ruisselée (LR) en fonction de l'averse correspondante (P) et de l'indice d'humidité (IP) représentatif de l'état d'humectation préalable des sols. Cet indice est de la forme suivante :

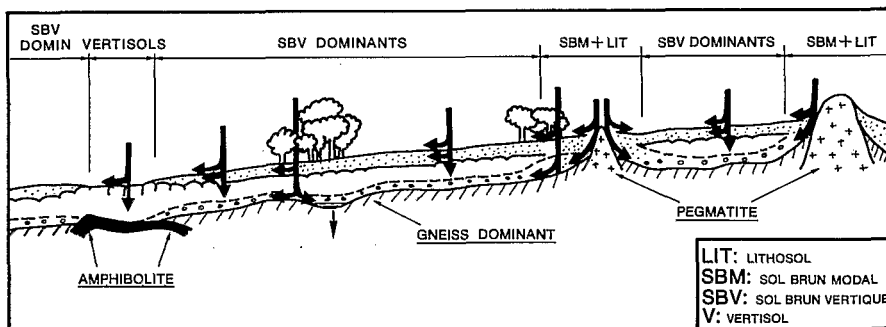


Fig. 2. Schéma de circulation des solutions.

$$IP_n = (IP_{n-1} + P_{n-1}) * K^{Tr}$$

où : ----> Tr est le temps séparant l'averse étudiée P_n de l'averse antérieure P_{n-1}

----> I P_n est l'indice d'humidité avant la pluie P_n du jour n

----> I P_{n-1} est l'indice d'humidité avant la pluie P_{n-1}

----> K est un coefficient d'ajustement qui dépend de la perméabilité du sol et de la cinétique de ressuyage de ses horizons.

Pour mieux représenter la lame ruisselée LR, on a retenu deux types de relation LR = f(P, IP) :

$$LR = a.P + b.IP + c \quad [\text{sols nus}]$$

$$LR = \alpha.P + \beta.P.IP + \Gamma.IP + \zeta \quad [\text{sols sous caatinga}]$$

Le tableau ci-dessous donne les différents coefficients de ces 2 relations pour chacune des trois superficies étudiées sur sol brun vertique et la figure 3 donne la représentation graphique de ces mêmes relations dans les 6 cas étudiés et pour 2 indices de pluie :

IP = 50 ----> sol sec

IP = 300 ---> sol très humide

	Sols nus			Sols sous Caatinga			
	a	b	c	α	β	Γ	ζ
1m ²	0.691	0.009	-3.1	0.165	0.00064	0.0116	-5.26
100 m ²	0.605	0.016	-4.5	0.149	0.00052	0.0090	-6.10
1 ha	0.558	0.020	-7.9	0.134	0.00039	0.0065	-6.94

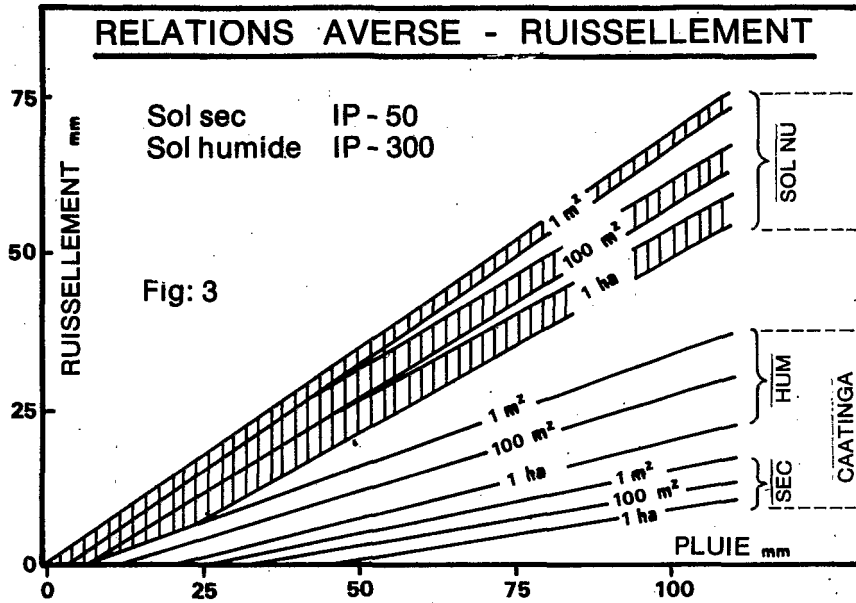


Fig. 3. Relations averse-ruissellement.

Les coefficients a, b, α, β, Γ et ζ sont directement fonction de la superficie correspondante, ou plus exactement de son logarithme. Si bien que l'on peut calculer la valeur de la lame ruisselée en fonction de la pluie (P) et de la superficie (S) à l'aide des relations suivantes, pour des superficies comprises entre 1 m² et 1 ha :

$$\text{Sol nu : LR} = 0,69.P - (0,033.P - 0,003.IP). \log.S + 0,010.IP - 5$$

$$\begin{aligned} \text{Caatinga : LR} &= 0,165.P + 0,00064.P.IP + 0,0116.IP - 5,26 \\ &- \log.S (P/129 + P.IP/16000 + IP/784 + 0,42) \end{aligned}$$

Ces résultats montrent que, dans des conditions moyennes d'humidité, le ruissellement sur sol nu diminue d'environ 5 % chaque fois que la superficie double.

- Rôle de la végétation

L'étude du comportement des superficies de 100 m² et 1 ha avait montré le rôle déterminant de la couverture végétale sur le ruissellement. Les études plus complètes effectuées en 1988 et 1989 sur 1 m², ainsi que le

plus grand nombre de données traitées sur 100 m² et 1 ha, ont permis de mieux définir ce rôle. Le graphique de la figure 4 donne les valeurs du ruissellement sous caatinga en fonction de celui sur sol nu, pour une même pluie et dans des conditions comparables d'humidité préalable des sols.

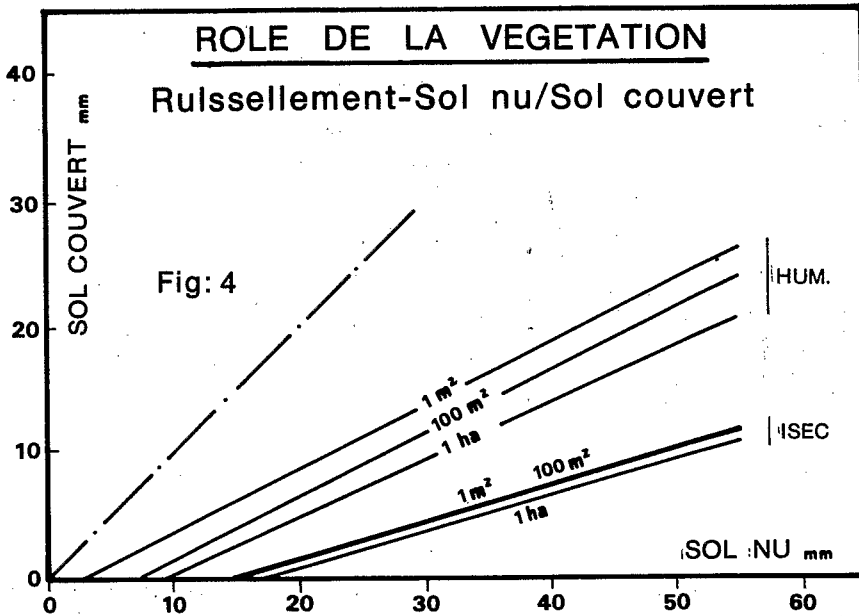


Fig. 4. Rôle de la végétation.

On constate que la réduction de ruissellement est d'autant plus importante que le sol est plus sec. En effet, sur sols secs, l'influence de la végétation sur l'infiltration est prépondérante. Mais lorsque les sols sont très humides, cette influence diminue, et l'horizon A fortement saturé devient un des facteurs principaux limitant l'infiltration.

Ce graphique montre, en outre, que sur microbassins de 1ha, les sols sous caatinga retiennent les 10 à 20 premiers millimètres (suivant l'état d'humidité des sols) qui s'écoulent sur les microbassins dénudés. Puis, par la suite, ils retiendront, pour les fortes pluies, de 60 à 85 % de la part supérieure à ces 10 ou 20 premiers millimètres. Sur 1 m², la première interception se réduit à 5-15 mm et la suivante à 50-80 % de la part supérieure à ces 5-15 mm.

Dynamique interne

Les résultats obtenus sous pluies simulées (microparcelles de 1 m²) et le schéma de fonctionnement présenté figure 2 ont permis de mettre en évidence trois types de flux principaux :

- Infiltration superficielle

On a vu qu'à toutes les échelles d'étude, la couverture végétale apparaît comme un facteur déterminant du ruissellement. Le mécanisme en jeu est en réalité la dégradation de la structure superficielle du sol lorsque sa surface n'est pas protégée de l'impact direct des pluies de fortes intensités. Les expériences de terrain ont montré que l'horizon A ne se comporte pas comme un simple réservoir qui se remplit, mais que ses relations avec les horizons adjacents, auxquels il transmet les flux, sont également déterminants.

- Les transferts de A vers B et C

Le cas des sols bruns modaux sans horizon B textural et des sols lithosoliques ne posent pas de problèmes. On a constaté que l'infiltration progresse rapidement jusqu'à la base du sol. Ainsi ces sols constituent des zones d'infiltration préférentielle, surtout s'ils sont couverts de végétation.

Par contre les phénomènes sont extrêmement compliqués dans les sols bruns à horizon B textural marqué. Les transferts à l'interface A/B sont extrêmement lents tant que l'horizon A n'est pas lui-même au voisinage de la saturation, et même alors ils restent lents. La redistribution du A au profit du B, et à l'intérieur du B est aussi très lente. Ces propriétés et cette dynamique très contrastées entre A et B entraînent, sous pluie suffisante, une saturation de l'horizon A qui se prolonge après la pluie et crée des conditions de drainage latéral. Cette différenciation du profil est donc un des facteurs importants du fonctionnement hydrique superficiel de ces sols. L'absence de végétation augmente cet effet en détournant une part importante de ces circulations au profit du ruissellement.

Dans certains cas le profil se mouille et s'engorge à sa partie supérieure dans le A, et l'eau arrive à la base du B sans traverser celui-ci. Ces courts-circuits peuvent être interprétés par l'hétérogénéité du sol liée à la structure complexe du substrat rocheux. En effet, depuis l'affleurement de pegmatite correspondant à une tache de sol brun modal, jusqu'aux horizons obliques et ondulés et aux filons de quelques centimètres d'épaisseur, on peut avoir un système de voies de circulation rapide extrêmement diversifié. Leur entrée en fonctionnement, échelonnée dans le temps, explique des conditions d'humectation profonde parfois par saccades successives avant d'atteindre la saturation du C.

- *Les drainages*

L'existence de drainages obliques dans les conditions expérimentales a été confirmée par la présence de nappes dans l'altération. Ces nappes s'écoulent latéralement chaque fois que la topographie interne des contacts entre horizons fera apparaître un gradient hydraulique.

Il peut, enfin, exister un drainage vertical à la base du sol, terme sur lequel on ne possède aucune donnée. On peut seulement dire qu'il est, sans doute, faible et localisé, en relation avec l'hétérogénéité et la structure faillée du substrat rocheux.

Quantification des flux

Modèle de simulation résultant.

Le schéma de fonctionnement de ce système, présenté ci-dessus a permis d'établir un modèle de simulation vertical de l'infiltration (cf. figure 5). Chaque horizon (A : superficiel, B : vertique, C : altération) est symbolisé par un réservoir dont les entrées et les sorties correspondent aux divers flux identifiés précédemment.

Chaque réservoir a :

- une capacité maximale : H max
- une capacité minimale : H min
- un contenu actuel : H

- *Réservoir superficiel A*

Ce réservoir possède deux entrées : une, au dessus, alimentée directement par la pluie (I1) et par l'écoulement superficiel (ESentrada) du module situé juste à l'amont, et l'autre, latéral (EBAentrada), alimentée par l'écoulement subsuperficiel au dessus de l'horizon vertique en provenance du module amont. Lors du calage du modèle sur une superficie élémentaire (1 m²), ce flux est pris égal au flux de sortie (EBAsaida).

Les sorties sont au nombre de cinq :

- une au dessus et par les racines, donnant une partie de l'ETR;
- une, au dessous, pour alimenter le réservoir inférieur (I2);
- une, latérale, qui donne l'écoulement subsuperficiel (EBAsaida) quand l'horizon vertique limite l'infiltration I2;
- une, au dessus, par débordement, contribuant à l'écoulement superficiel, quand l'horizon A est près de la saturation;
- une dernière (VP) qui va directement dans l'altération. Il s'agit d'une

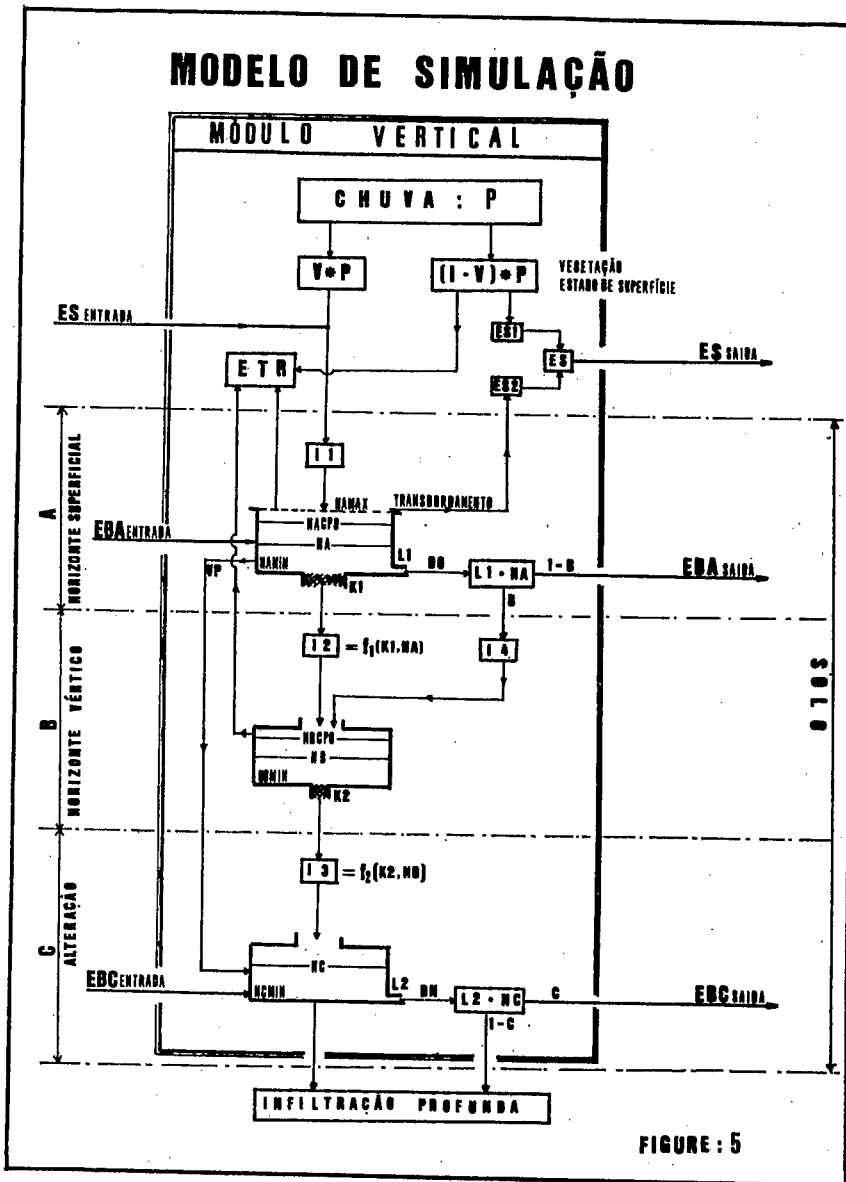


Fig. 5. Modèle de simulation.

voie de circulation préférentielle, particulière et temporaire (fentes de l'horizon verticale lorsqu'il s'assèche, écoulement préférentiel le long des racines, etc....).

- Réservoir de l'horizon verticale B

L'alimentation de ce réservoir vient, d'une part, directement de l'horizon superficiel (I2), et d'autre part, d'une partie (I4) du drainage subsuperficiel avant que celui-ci ne sorte du module. La sortie supérieure contribue à l'ETR, et la sortie inférieure alimente le réservoir de l'horizon C par infiltration (I3).

Dans le cas des sols bruns modaux, quand il n'y a pas d'horizon verticale, les flux I2 et I4 vont directement dans le réservoir C.

- Réservoir de l'altération C

L'entrée principale de ce réservoir est I3 venant de B, ou I2 + I4 venant de A, dans le cas des sols modaux. Il y a aussi deux autres entrées : les voies de circulation préférentielle quand elles existent et les drainages obliques des nappes temporaires de l'altération (EBCentra). La sortie principale (EBCsaïda) est celle qui alimente ces nappes temporaires et le drainage oblique. Finalement, il peut y avoir quelques infiltrations profondes hors du module.

Calage du modèle sur 1m²

Actuellement le modèle est dans sa phase de calage sur les microparcelles de 1 m² sur sols bruns vertiques et non vertiques, avec et sans couverture végétale. Le problème principal est la détermination du transfert de l'eau de l'horizon A vers l'horizon B (fonction f 1), et de l'horizon B vers l'altération C (fonction f 2). Pour le moment ces fonctions sont testées avec des formes exponentielles du type :

$$I2 = HA * \exp(-K1) \text{ et } I3 = HB * \exp(-K2)$$

Mais, en réalité, K1 et K2 sont des coefficients de conductivité hydraulique du sol, et il est préférable d'utiliser les relations $K(\theta)$ de la conductivité hydraulique K en fonction de l'humidité volumique θ . Une expérience d'infiltration sous charge d'eau constante (méthode du "drainage interne") a permis d'établir, par traitement statistique, les relations $K(\theta)$ et $H(\theta)$ de la tension en fonction de l'humidité volumique. Mais, en raison de la très forte hétérogénéité des sols, la précision obtenue n'est pas suffisante pour introduire ces valeurs dans le modèle, sauf, peut-être, pour l'horizon A où il est possible d'appliquer une relation du type Brooks et Corey

(1964) :

$$K = K_r \left[\frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_r} \right]^B$$

où θ_s et θ_r sont des paramètres de calage qui peuvent être assimilés à des humidités volumiques à saturation et résiduelle. Les valeurs de chacun des paramètres et coefficients de la relation sont les suivantes :

$$\begin{array}{ll} 28.0 \leq \theta_s \leq 37.5 & 5 \leq \theta_r \leq 20 \\ 5.0 \text{ E-}6 \leq K_r \leq 1.0 \text{ E-}5 & -5.5 \leq B \leq -3.0 \end{array}$$

La détermination de la conductivité hydraulique K en fonction de la teneur en eau θ de chaque type de sol doit être déterminée, en laboratoire, sur petits cylindres. Les résultats permettront de mieux connaître ce $K(\theta)$ pour chacun des horizons.

L'évapotranspiration réelle (ETR) qui est un phénomène assez stable, est liée à l'évapotranspiration potentielle (ETP) par un coefficient de réduction K_R qui dépend de la teneur en eau du sol. Donc, la détermination de ce coefficient dépend de l'état d'humidité de l'horizon pour lequel va être calculée l'ETR. Nous avons vu, ci-dessus que chaque réservoir est défini par deux paramètres caractéristiques et la teneur en eau actuelle. Par exemple, dans le cas de l'horizon superficiel, nous avons la capacité maximale (H_{Max}), la capacité minimale (H_{Amin}) ou point de flétrissement, et la teneur en eau actuelle (HA). On peut ajouter un autre paramètre qui est la capacité au champ (H_{Acpo}) dont la valeur est comprise entre H_{Max} et H_{Amin} . Le coefficient K_c dépend de ces quatre valeurs caractéristiques du réservoir. En définitive, la forme suivante a été choisie pour le calcul de l'ETR du réservoir superficiel :

$$\begin{array}{l} \text{quand } HA \geq H_{Acpo} \text{ ---> } ETR = ETP \\ \text{quand } HA \leq H_{Acpo} \text{ ---> } ETR = ETP \frac{HA - H_{Amin}}{H_{Acpo} - H_{Amin}} \end{array}$$

Les horizons B des sols vertiques contribuent aussi à l'ETR. Les relations pour l'évaluer sont semblables à celles définies pour l'horizon A. Mais, comme la contribution du B est bien inférieure à celle du A, on admet que la répartition de l'ETR entre A et B est dans la proportion de 80/20.

Extension du modèle à des superficies plus grandes

Après avoir calé le modèle vertical sur des superficies de 1 m² (module élémentaire des microparcelles) pour chaque type de sol, du lithosol au vertisol, l'interconnexion de ces modules entre eux devrait permettre de simuler le comportement hydrodynamique et d'évaluer les différents termes du bilan hydrique de superficies plus grandes telles que 100 m², 1ha et même 1 km². Peut-être sera-t-il aussi possible de donner une explication au phénomène d'effet d'échelle lorsque l'on passe d'une petite superficie à une plus grande? Dans ce but, chacune de ces superficies est divisée en zones de caractéristiques physiques homogènes (sol, végétation, pente), sur lesquelles est appliqué un modèle de simulation vertical déjà calé précédemment sur une zone élémentaire identique. En plus de la pluie qui est une donnée d'entrée, les entrées de chacun des modules doivent correspondre aux sorties du module immédiatement en amont.

Conclusion

Ce modèle a l'avantage de représenter les principaux termes du bilan hydrique déterminés à partir d'une étude très détaillée des sols bruns d'une région caractéristique du Nordeste semi-aride du Brésil. C'est le résultat direct d'un schéma de fonctionnement sol-végétation correspondant à la réalité physique des observations de terrain basées sur les mesures conjointes du potentiel (tensiomètres), de l'humidité volumique du sol (sonde à neutrons) et du ruissellement (limnigraphe), sous pluies simulées (minisimulateur de pluie) et naturelles.

En outre, il permettra, peut-être, d'expliquer l'effet d'échelle, c'est-à-dire la réduction de la hauteur de la lame d'eau écoulée lorsque la superficie prise en compte augmente. Cet effet d'échelle a été constaté et mesuré sur le terrain et a pu être chiffré grâce aux relations présentées ci-dessus.

Bibliographie

- Audry, P., E. Cadier, J.C. Leprun et M. Molinier 1987. Projet " Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale. Rapport d'avancement des travaux en juin 1987. ATP-PIREN, ORSTOM. Recife (Brésil).
- Audry, P., E. Cadier, J.C. Leprun et M. Molinier. 1987. Projeto: Dinâmica de água e das matérias em um ecossistema representativo do Nordeste brasileiro. Condições de extrapolação espacial na escala regional. Relatório de andamento dos trabalhos. ORSTOM, Recife. Síntese do relatório de andamento do trabalho de 1987. ORSTOM,

Recife.

Brooks, R.H. et A.T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Colorado State University, Fort Collins, *Hydrol. Paper*, No. 3.

Leprun, J.C., M.S. Assuncao et E. Cadier. 1983. Avaliação dos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste semi-árido. Características físico-químicas. SUDENE, *Sér. Hidrologia*, No. 15.

Molinier, M. 1985. Um minissimulador de chuva ou infiltrômetro de aspersão, VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, São Paulo, 11-14 nov. 1985, Vol. 3, pp. 405-418.

Molinier, M., C.O. Galvao et H.P. Gomes. 1987. Determinação do escoamento de uma bacia hidrográfica através das técnicas de simulação de chuva, VII Simposio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos. Salvador, Brésil, Vol. 2, pp. 530-544.

Molinier, M., P. Audry, J.C. Desconnets et J.C. Leprun. 1988. Projeto: Dinâmica de água e das matérias em um ecossistema representativo do Nordeste brasileiro. Condições de extrapolação espacial na escala regional. Relatório de andamento dos trabalhos em junho de 1988. ATP-PIREN, ORSTOM, Recife.

Molinier, M., P. Audry, J.C. Desconnets et J.C. Leprun. 1989. Projet : "Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale". Rapport final. ATP-PIREN, ORSTOM, Recife.

Poss, R. 1987. Bhyson Logiciel intégré pour le traitement des données d'humidimétrie neutronique. ORSTOM, Logor.

Touma, J. 1987. Test. Modèle pour tester la représentativité des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol non saturé déterminées in-situ. ORSTOM, Dakar.

UFPB-CNPq. 1987. Modelo de aproveitamento hidrológico em bacias experimentais na região de Sume. Campina Grande, PB.

Vaclin, M. et G. Vachaud. 1987. Caractérisation hydrodynamique des sols: analyse simplifiée des essais de drainage interne, *Agronomie*, 7(9), 647-655.

ORGANIZACIONES SUPERFICIALES E INTERACCIONES DE LAS CONDUCTIVIDADES HIDRAULICAS EN SUELOS DE ZONAS ARIDAS Y SEMI-HUMEDAS

Jean Collinet

De la sequía meteorológica a la sequía hidrológica

No existe todavía ningún método para predecir con precisión si va ocurrir, continuar, cesar o repetirse una sequía meteorológica y eso, más aún cuando los regimenes pluviométricos presentan, en zonas intertropicales secas, los más fuertes coeficientes de variabilidad interanuales.

En cambio, se empiezan a conocer más los efectos de la sequía sobre los ecosistemas y actualmente se puede esperar reducir sus efectos analizando los procesos de transformación, de adaptación o de degradación de éstos ecosistemas. Esta investigación necesita análisis, a la vez globales y fundamentales, lo que obliga a utilizar todas las escalas de observación de los medios, y, también para las que no parecen actuar, con toda evidencia, sobre la dinámica de estos ecosistemas.

Sin embargo, entre la sequía meteorológica y la sequía hidrológica, es necesario interesarse en las organizaciones de las coberturas de suelos y, entre estas, considerar interacciones de las organizaciones estructurales de sus superficies con la conductividad hidráulica de todo el espesor del perfil del suelo.

Una ley de la hidrodinámica muy teórica pero necesaria para recordar lo que es la conductividad hidráulica

En un suelo que estaría totalmente homogéneo, (entonces, ¡qué no puede existir!), el flujo de infiltración de agua, debajo de una lámina de agua (si se trata de riego), o casi sin carga hidroestática (si se trata de aspersión artificial o natural) puede compararse con el flujo de filtración cuyas características se describirán con la ley de DARCY. Este flujo de filtración (Q) es proporcional : al coeficiente "K" que es la conductividad hidráulica dependiendo de las características porosas del suelo, y también,

de las del fluido; a la diferencia de carga hidráulica (H) entre dos niveles de profundidad; e inversamente proporcional a (L), que es la porción del medio poroso homogéneo atravesado por el flujo.

Unos compartimientos hidrodinámicos que pueden explicarse por la heterogeneidad vertical de las organizaciones estructurales, o por la inestabilidad de algunas de estas organizaciones

A menudo, el suelo no está, en el medio poroso homogéneo dentro del cual podrían ser demostradas las leyes elementales de la hidrodinámica. Entre las principales causas de heterogeneidad se pueden distinguir : a) las que están ligadas con la naturaleza misma de los suelos que están constituidos de "capas" u "horizontes", teniendo características físicas, químicas y mineralógicas diferentes, en primera evaluación estas características son estables, por lo menos a escala de observación humana; b) las que están ligadas con las modificaciones estructurales de la extrema superficie del suelo bajo el efecto de la energía cinética de las lluvias, o bajo los efectos de duraciones, más o menos largas, de inmersiones; estos efectos son perceptibles a escala de tiempo de las estaciones climáticas.

Primera situación donde la infiltración está principalmente controlada por las interfaces de horizontes

Para simplificar la demostración, consideramos un perfil de suelo donde se encuentra una transición abrupta de materiales con texturas diferentes. Esta situación puede ocurrir en suelos muy evolucionados donde se pasa de un horizonte muy arenoso a un horizonte muy arcilloso, siendo también posible a la inversa. Cualquiera que sea el orden de superposición de las texturas, se comprueba siempre una disminución del régimen de infiltración en el momento que el frente de humedad llega a esta interface.

De hecho, en el primer caso de superposición (arena sobre arcilla), hay una disminución brutal de diámetro de los conductos. Por lo tanto, habrá una disminución de la conductividad.

En el segundo caso de superposición, de arcillas sobre arenas, la infiltración disminuye también porque la tensión del agua contenida dentro de los conductos capilares arcillosos y húmedos es demasiado fuerte como para permitir atravesar la interfaz, y más aún cuando el diámetro de los conductos capilares secos aumentan brutalmente.

En ambos casos habrá que esperar una acumulación del agua, en condiciones saturadas, encima de la interfaz, para que, al final, el potencial de gravitación supere el potencial matricial. Es una de las causas por la cual la velocidad de progresión del frente de humedad es irregular en la mayor parte de los suelos. De hecho, la conductividad hidráulica es controlada por la totalidad de los horizontes del suelo. Cada inflexión corresponde, ya sea con una acumulación de agua por encima de la interfaz, y provoca un aumento de escorrentía, o si no con el atravesamiento de una interfaz por el frente de humectación.

Este comportamiento corresponde a los suelos de zonas húmedas o semi-húmedas donde la actividad biológica es importante y duradera, y donde las conductividades de las superficies están durante todo el año mucho más fuertes que las del conjunto de los horizontes del suelo. Esto será muy diferente en lo que a los suelos de zonas áridas se refiere.

Segunda situación, donde la infiltración pasa a ser controlada por la conductividad hidráulica de la superficie de los suelos, a través de los mecanismos de entarquinamiento de las superficies

En zonas secas, la composición y las organizaciones de los horizontes profundos pierden mucho sus influencias en los comportamientos hidrodinámicos de las coberturas de los suelos. Esta hidrodinámica se vuelve cada vez más superficial y, en resumen, mucho más simplificada. Esta simplificación resulta de cambios estructurales superficiales llevando a un entarquinamiento más o menos importante y rápido.

Lo que a menudo se llama "entarquinamiento de las superficies", o (en inglés) "soil sealing", "soil crusting", pudo ser analizado de manera más detallada con la simulación de lluvia. Estudios recientes que combinaron experimentos y observaciones de campo, en particular los de meso y microestructurales de los primeros centímetros de los suelos, permitieron comprender estos procesos de cambios superficiales en zonas áridas de África del oeste.

El método que fue utilizado consistió en hacer coincidir las tomas de muestras con las fases características de escorrentías demostradas por la simulación de lluvia y por otro lado, en estudiar los efectos evolutivos de las coacciones (por ejemplo, de la energía cinética sobre los microhorizontes de los suelos). Dos ejemplos pueden bastar para explicar los entarquinamientos en zonas áridas de África del oeste.

a) El conjunto de los suelos arcillo-limosos, verticos, en zonas secas. Los suelos estudiados se relacionan con "vertisoles" y "suelos isohumicos con pedoclima caliente durante la estación lluviosa, pardos, sub-áridos, vérticos" (Clas. francesa); estos pueden corresponder con los "pelloxererts", "xerochrepts" (Clas. USDA); o con los "pellic vertisoles", "vertic cambisoles" (Clas. FAO).

El entarquinamiento de la superficie de estos suelos no es demasiado difícil de entender. Conviene entonces distinguir dos situaciones, según el lugar de las observaciones. En efecto, estos suelos con caracteres vérticos presentan una topografía de micro-ondulaciones delimitando zonas bajas sumergibles y zonas altas.

Encima de cada ondulación, la concentración de láminas plásmicas (arcillosas) superficiales resultan de la fusión de la fracción aglomerada bajo el único efecto de la sobresaturación hídrica, y no bajo el efecto de la energía de las gotas de lluvia, lo que se constatará a continuación. Esta fusión es más importante aún y completa que lo que el complejo absorbente puede guarecerse con proporciones importantes de magnesio con relación a las de calcio ($Mg/Ca > 1$). Las alternaciones de humedad y de desecación pueden volver a crear una red de fisuras, o bien una nueva estructura fragmentaria constituida con aglomerados más o menos estables; esta estabilidad está ligada con las proporciones de cationes Ca^{++} y Mg^{++} fijados en el complejo absorbente. Entonces, el régimen de infiltración se parte en dos intensidades límites muy distintas, antes y después del cierre de las fisuras superficiales.

En las depresiones, se producen estratificaciones de láminas de arcillas y de láminas arenosas. Se trata de depósitos de decantación de los sedimentos que quedan en las partes sumergibles al terminarse cada escorrentía. El conjunto constituye una "barrera hidrodinámica" particularmente espesa y estanca.

La infiltrabilidad de toda esta cobertura de suelo depende así :

- de la naturaleza mineralógica particular de las arcillas que son Esmectitos, más precisamente Monmorilonita,
- de la naturaleza y de las proporciones de sus cationes intercambiables,
- de la microtopografía del campo donde los puntos elevados corresponden a zonas ocasionalmente más permeables, debido a sus dinámicas estructurales estacionales.

b) El conjunto de suelos arenosos a areno-arcillosos, en zonas secas y semi-húmedas. Los suelos que fueron estudiados son, todavía, "suelos isohúmicos, pardos, sub-áridos" pero no "vérticos" o "suelos con sesquióxidos de hierro, ferroginos, tropicales, más o menos lavados" (Clas. francesa); estos pueden corresponder a los "haplustalfs", "plinthustalfs" (Clas. USDA), a los "orthic-, ferric-, plinthic-luvisoles" (Clas. FAO).

Los efectos evolutivos descritos a continuación, corresponden a una textura de menos de 25 % de arcilla + limo fino. Las arcillas mineralógicas son Iilitas con Caolinitas o, a veces, arriba de las vertientes, en antiguas superficiales morfológicas, únicamente Caolinitas poco o no dispersables a causa de la fijación más o menos irreversible de sesquioxidos de hierro sobre la laminillas de estas arcillas.

En este segundo caso, el procedimiento de entarquinamiento de las superficies es más complejo. Pudo ser demostrado con el análisis de los efectos evolutivos a partir de la descripción y de la comparación de 150 laminillas de muestras de suelos.

El aspecto final de las organizaciones estructurales pueden cambiar un poco a través de las diferentes coberturas de suelos de los diferentes medios estudiados, pero los mecanismos provocando la repartición de los elementos y sus organizaciones son comunes a través de todos los sitios.

Como se dijo anteriormente, este proceso se demostró interpretando las observaciones de laminillas de muestras tomadas durante las diferentes fases características de la escorrentía.

El estado inicial al final de la estación lluviosa, enseña una "matriz" donde el "plasma"(arcillas granulométricas) y el "esqueleto" (granos de arena) están ligados; se encuentra entonces una gran porosidad que resulta de la actividad de la fauna del suelo.

Durante la fase de imbibición, el fondo matricial se disloca, los elementos se dispersan bajo los efectos conjugados de la transmisión de vibraciones que resultan de la disipación de la energía cinética de las lluvias y de la sobresaturación hídrica.

Durante la fase del régimen constante de escorrentía, o de régimen permanente de la infiltración (porque se trata de simulación de lluvia con intensidad constante), y durante la fase de vaciado, al final de la lluvia, el plasma se organiza en capa laminaria cuyos límites inferiores son abruptos.

Esta lámina plásmica no corresponde, como se podría suponer, con un detenimiento de la migración de plasma encima de un horizonte que estaría más compacto o que presentaría una heterometría granulométrica particular. Este límite corresponde, en cambio, al límite de una capa de aire que proviene del suelo y que está comprimida cuando la lámina de agua de escorrentía cubre el suelo. La distensión del aire al fin de la escorrentía provoca la reunión de los elementos plásmicos que estaban, hasta este momento, dispersos en la matriz del suelo.

Durante la desecación del suelo, los granos del esqueleto se juntan y, a partir de este momento, conviene distinguir dos modos de concentraciones plásmicas que dependen de la granulometría de los elementos del esqueleto y también de la naturaleza mineralógica de las arcillas :

- si la fase plásmica es coloidal (Ilita o Smectita que pueden rehidratarse), los elementos muy finos de arcillas se introducen fácilmente entre los granos de arena, se condensan entre ellos y construyen una lámina continua, estanca y estable.

- si la fase plásmica perdió, en parte, sus características coloidales a causa de la fijación de sesquióxidos de hierro sobre las laminillas de arcillas, el traslado de partículas es más rápido, moderado por una aglomeración entre los intersticios de los granos. Así se forman también concentraciones laminarias pero están menos densas, menos estancas y estables que antes.

La infiltrabilidad de este tipo de cobertura de suelos va a depender entonces :

- de la repartición granulométrica de los elementos. Así es como una hermeticidad máxima se observa para arenas finas y tasas de arcillas + limo fino entre 15 y 25 %,

- de la naturaleza mineralógica de las arcillas así como de sus estados de saturación con cationes intercambiables o con óxidos de hierro,

- de la tasa de cobertura vegetal, porque esta se opone mucho al mecanismo descrito anteriormente, tanto en lo que concierne la interceptación de la energía cinética de las lluvias, como por la formación de zonas con drenajes preferenciales, sin concentraciones plásmicas.

Conclusión

El estudio de donde son extraídas las informaciones precedentes permitió una comparación latitudinal de los compartimientos hidrodinámicos de coberturas de suelos en el oeste de Africa. Se distinguió así : una hidrodinámica superficial, lateral y simplificada en las coberturas de las zonas áridas, en cambio, una dinámica profunda, vertical o oblicua

en las coberturas de las zonas húmedas.

La partición entre los dos tipos de regímenes de infiltración, anteriormente analizados, es relativamente abrupta porque corresponde a un límite bioclimático dando el predominio a los cambios físicos en las zonas secas, y biológicos en las zonas húmedas :

- en las zonas secas la hidrodinámica depende de la construcción, después de la estabilidad, de organizaciones meso y micromorfológicas, que controlan desde la superficie, la conductividad hidráulica de los suelos; esta simplificación de las dinámicas limita de manera importante la significación y la utilización de las informaciones de tipo morfopedológicas (mapas de suelos y sus leyendas),

- a partir de la zona semi-húmeda (10 grados de latitud norte en Africa Occidental), la reanudación de toda una serie de procesos destruye durante numerosos meses las organizaciones anteriores. Estos procesos son la consecuencia de numerosos efectos: perennidad de las actividades biológicas vegetales, permanencia de un sistema radical, crecimiento de la actividad de la fauna del suelo. Estos efectos restauran así una conductividad hidráulica profunda de lo que también resulta una complejidad creciente de la hidrodinámica en los vertientes.

Los límites de utilización de los datos experimentales dependen precisamente de esta simplificación o de esta complejidad de ambos sistemas.

En zonas áridas, el énfasis, desde hace algunos años, en los esfuerzos sobre una identificación y la caracterización hidrodinámica conjuntas de los estados de superficies están totalmente justificados en lo que concierne a una predicción de las escorrentías sobre las vertientes y después en la red hidrográfica; por otra parte estas informaciones pueden fácilmente evaluarse con los datos de la teledetección de alta resolución.

A partir de la zona semi-húmeda, la extrapolación de los datos experimentales dan ocasión a una pérdida de información, en efecto, esta extrapolación trata más generalmente de volúmenes de los suelos antes que de sus superficies. La única vía de predicción de las escorrentías consistirá en la identificación muy precisa de las organizaciones de "sistemas de suelos" a escala de las vertientes, desde la cobertura vegetal hasta la roca madre, y esto, para prever el trayecto de los flujos hídricos. Sin embargo, es necesario saber que esta investigación necesitó mucho más trabajo de campo, con relación a la situación precedente, aunque sea solamente porque los datos de la teledetección son más difíciles de utilizarse en esta zona.

UTILISATION DE LA MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE POUR DETERMINER LES DATES DE SEMIS ET EFFECTUER UN ZONAGE AGROCLIMATIQUE (TOGO MERIDIONAL)

Roland Poss
H. Saragoni

Resumen

El rendimiento del maíz en buenas condiciones de alimentación mineral depende mucho de dos parámetros del balance hídrico : la evapotranspiración total, que caracteriza un potencial de rendimiento, y la falta de agua durante la floración, que constituye un factor de riesgo. La simulación de estos parámetros permite proponer una estrategia óptima de siembra de dos variedades de maíz. Se definen a continuación rendimientos potenciales a escala regional, simulando el balance hídrico en todas las estaciones climáticas de Togo meridional. Eso permite una división en zonas agroclimáticas de las potencialidades del maíz, que revela un gradiente norte-sur considerable durante la segunda temporada de cultivo.

Résumé

Le rendement du maïs, dans des conditions de bonne alimentation minérale, est fortement lié à deux paramètres du bilan hydrique : l'évapotranspiration totale, qui caractérise un potentiel de rendement, et le manque d'eau à la floraison, qui constitue un facteur de risque. La simulation de ces paramètres permet de proposer une stratégie optimale de semis pour deux variétés de maïs. Des rendements potentiels sont également définis à l'échelle régionale, en simulant le bilan hydrique sur l'ensemble des postes climatiques de la zone. Ceci permet de réaliser un zonage agropédoclimatique des potentialités du maïs, qui met en évidence une importante variabilité du nord au sud au cours de la deuxième saison de culture.

Summary

Under good conditions of mineral supply, maize yield is highly connected with two parameters of the water balance : total evapotranspiration, which characterizes a yield potential, and water stress, a factor of risk at the flowering stage. Simulating of the two parameters makes it possible to propose an optimal sowing strategy for two maize varieties. Potential yields are then defined at the region level, by simulating the water balance on all the climatological stations of the area, thereby making it possible to zone maize potential on the basis of agroclimatic and soil conditions. This zoning shows an important North-South gradient during the second crop season.

Introduction

Le sud du Togo est une région vitale pour l'agriculture du pays, car elle rassemble sur moins du dixième du territoire le tiers de la population totale (800 000 hab.). Le taux d'augmentation de 3 % par an de la densité de population, qui dépasse déjà fréquemment plusieurs centaines d'habitants au kilomètre carré, entraîne une disparition quasi-totale des jachères et un épuisement des sols (Dabin, 1956; Raunet, 1973). La nécessaire amélioration de la production agricole ne peut donc passer que par une augmentation des rendements en améliorant la gestion du milieu.

Depuis plusieurs décennies, les agronomes ont étudié des itinéraires techniques associant le travail du sol et la fertilisation minérale, afin de maintenir, ou même d'améliorer, le potentiel de fertilité du sol (Marquette, 1986). Leurs résultats sont en cours de vulgarisation, et une augmentation substantielle des rendements peut être obtenue ainsi. Une autre voie est de choisir, parmi les variétés récemment créées par les sélectionneurs, celles qui sont le mieux adaptées au climat. Le choix d'une variété pour une région donnée, et le calage de son cycle cultural, sont des problèmes délicats en raison de la variabilité interannuelle des pluies. Nous allons exposer ici la méthode retenue pour les résoudre, et les résultats obtenus en ce qui concerne le maïs, aliment de base de toutes les populations du littoral du Golfe du Bénin.

Matériel et Méthodes

Caler le cycle cultural d'une plante en zone intertropicale nécessite de connaître ses besoins en eau, et l'effet de stress hydrique à différents stades de développement sur le rendement (Dancette, 1983). Les consommations en eau de deux variétés de maïs ont été étudiées au champ pendant deux ans en conditions de bonne alimentation minérale.

La variété NH1F1, créée en 1968 par l'IRAT au Bénin, est la seule variété qui soit vulgarisée, grâce à certains caractères qui la font bien accepter par le monde paysan. C'est une variété à cycle de 110 jours, dont la potentialité est de 45 q.ha⁻¹ dans les conditions climatiques de la région. La variété La Posta (cycle de 120 jours), qui est une des premières sélections du CIMMYT et est à l'origine de la population 43, présente une potentialité supérieure (environ 55 q.ha⁻¹). Elle est moins bien acceptée par les paysans, car plus difficile à mouliner.

L'évolution du stock d'eau du sol et le drainage profond ont été évalués à l'aide d'humidimètres à neutrons et de tensiomètres (Poss et Saragoni, 1987). Ces mesures, réalisées sur parcelles irriguées et non irriguées, ont permis de définir les besoins en eau de la plante au cours des différents stades de développement (coefficients culturaux) et de réaliser le calage d'un modèle de simulation du bilan hydrique (Freteaud *et al.*, 1987). Le modèle utilisé, dérivé du modèle BIP de l'IRAT (Franquin et Forest, 1977), permet de reconstituer de manière satisfaisante les différents termes du bilan hydrique à l'échelle d'une période de cinq jours, du stade physiologique et du cycle cultural. Comme les données d'entrée du modèle sont principalement les pluviométries journalières, il est possible de simuler les bilans hydriques sur de nombreux postes climatiques pendant plusieurs décennies.

Résultats et discussion

Pour étudier l'effet des stress hydriques sur le rendement, les rendements obtenus dans des conditions de fertilisation satisfaisante pendant 11 ans (avec deux cycles culturaux par an) sur deux stations expérimentales ont été utilisés. Pour chacune des 22 campagnes agricoles, le bilan hydrique a été calculé. Des relations entre les paramètres hydriques reconstitués et les rendements mesurés ont ensuite été recherchées.

Deux relations ont été trouvées. La première, de type linéaire, lie l'évapotranspiration réelle du maïs au cours de l'ensemble de son cycle cultural (ETR-cycle) aux rendements ($r = 0,86$ pour 33 observations, Fig. 1) : pour obtenir les meilleurs rendements moyens, il faut donc rechercher la date de semis qui correspond aux valeurs d'ETR-cycle les plus élevées.

La deuxième, qui traduit l'effet des stress hydriques au moment de la floraison sur le rendement (évapotranspiration réelle/évapotranspiration maximale à la floraison, ETR/ETM-floraison), n'est pas linéaire (Fig. 2) : si les besoins à la floraison sont satisfaits à moins de 60 %, les rendements deviennent très faibles, quelles que soient les conditions hydriques sur le reste du cycle. Comme toujours pour le maïs (Robins et Domingo, 1953; Denmead et Shaw, 1960; Salter et Goode, 1967), le stress hydrique à la floraison constitue donc pour les producteurs togolais un risque considérable. Le calage du cycle cultural doit donc concilier une espérance de rendement moyen la plus élevée possible (ETR-cycle maximum) avec un risque minimum (ETR/ETM-floraison maximum).

RELATION ENTRE ETR CYCLE CULTURAL SIMULEE RENDEMENT MESURE

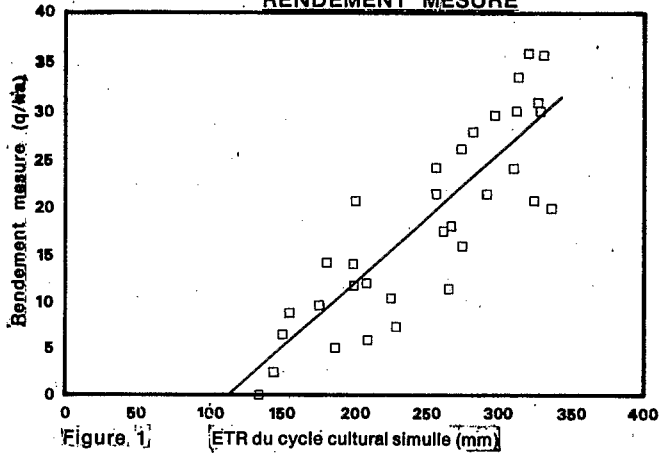


Fig. 1. Relation entre ETR cycle cultural simulée, et rendement mesuré.

RELATION RENDEMENT - ETR/ETM FLORAISON

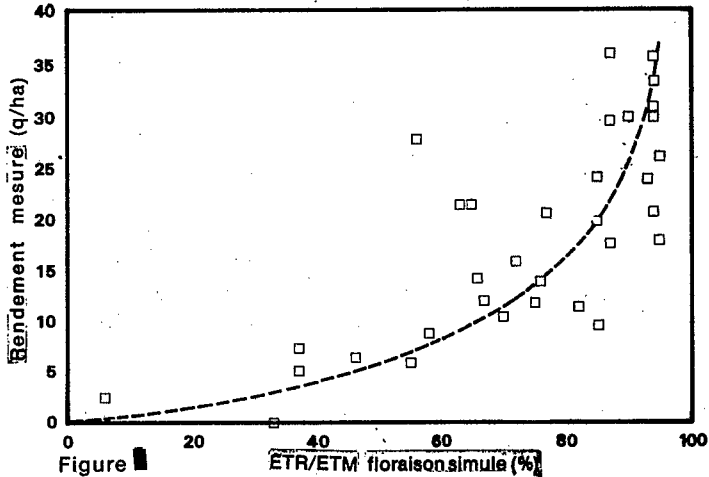


Fig. 2. Relation entre rendement et ETR/ETM floraison.

Après avoir défini une période au cours de laquelle la pluviosité était comparable à celle observée actuellement (1965 à 1985 au Togo méridional), les moyennes de chacun des deux paramètres ont été calculées en fonction des dates de semis (Fig. 3) : l'intersection des périodes optimales pour chaque paramètre permet de définir les dates extrêmes de semis pour la variété étudiée et pour chaque poste climatique de la région. En intégrant l'ensemble des postes climatiques et la nécessité d'avoir une pluie pour assurer le semis dans des conditions satisfaisantes, il a été possible d'obtenir les dates de semis optimales pour les deux variétés (Tableau 1). De plus, cette étude a permis de démontrer qu'il n'était pas possible d'utiliser des variétés à cycle long au cours de la deuxième saison de culture.

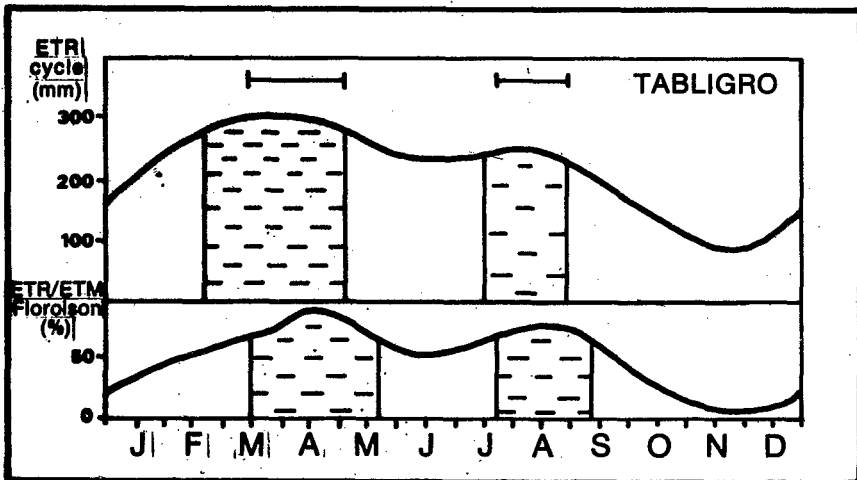


Fig. 3. Evolution des paramètres hydriques en fonction de la date de semis.

TABLEAU 1
DATES DE SEMIS OPTIMALES DES MAÏS NH1F1 ET LA POSTA
AU TOGO MERIDIONAL

Variété	Première saison des pluies			Deuxième saison des pluies		
	Semis le plus tôt	Semis le plus tard	Optimum: semis lorsque les pluies dépassent 20 mm après le	Semis le plus tôt	Semis le plus tard	Optimum: semis lorsque les pluies dépassent 15 mm après le
Maïs NH1 F1 (110 jours)	20 mars	15 mai	1 ^{er} avril	15 juillet	15 septembre	10 août
Maïs La Posta (120 jours)	15 mars	5 mai	20 mars			

Le choix d'une variété dans une zone donnée nécessite de connaître les rendements potentiels de chacune des variétés possibles. L'utilisation de la simulation du bilan hydrique a permis de résoudre ce problème. Pour les 15 stations climatiques de la région, le bilan hydrique a été calculé pour les deux variétés sur 20 années consécutives, en appliquant la date de semis optimale définie par l'étude précédente. A l'aide de la relation entre l'ETR-cycle et le rendement (Fig. 1), un rendement moyen en a été déduit, ce qui a permis de dresser des cartes réalisant un zonage agroclimatique de la région (Fig. 4).

Dans le cas étudié, un fort contraste apparaît entre le littoral, peu productif car peu pluvieux, et l'intérieur du pays, où les pluies sont plus abondantes. Les faibles rendements observés sur le littoral résultent donc de problèmes d'alimentation hydrique, impossible à résoudre actuellement car l'irrigation n'est pas rentable. Ces résultats conduisent à préconiser aux organismes de développement de ne pas conseiller le maïs en deuxième saison de culture sur le littoral, mais de s'orienter plutôt vers des productions végétales moins exigeantes en eau.

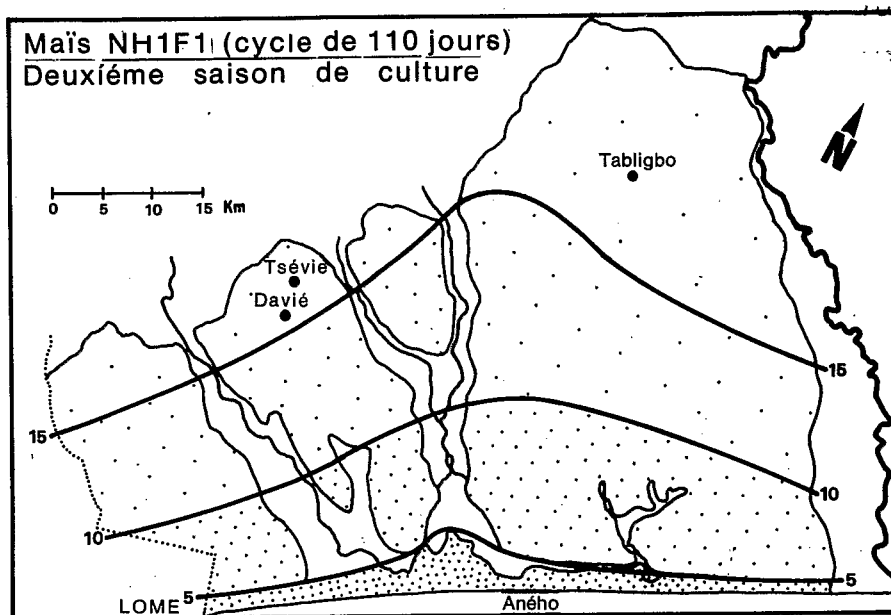


Fig. 4. Rendement potentiel moyen (q.ha⁻¹) du maïs en deuxième saison de culture.

Conclusion

L'utilisation d'un modèle de simulation du bilan hydrique calé sur des données de terrain a donc permis de définir les contraintes et les potentialités de la culture du maïs dans le sud du Togo.

L'étude comparée des rendements observés et des paramètres hydriques obtenus par simulation sur la même période a fourni une évaluation de la productivité du maïs en fonction des conditions pluviométriques. En simulant différentes périodes de semis, une stratégie optimale de semis a pu être élaborée en augmentant le potentiel de rendement et en diminuant le risque à la floraison.

A l'échelle régionale, un zonage agropédoclimatique a été réalisé, révélant un important gradient de potentialités. Cette approche, qui intègre les hétérogénéités spatiales et temporelles, a permis d'obtenir des résultats agronomiques immédiats. Elle est en cours d'extension à d'autres régions du Togo, et elle devrait pouvoir s'appliquer également dans de nombreux autres pays tropicaux.

Bibliographie

- Dabin, B.** 1956. Contribution à l'étude de la fertilité des terres de Barre. *L'Agron. Trop.*, 11(4): 490-506.
- Dancette, C.** 1983. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *L'Agron. Trop.*, 38(4): 281-294.
- Denmead, O.T. et R.H. Shaw** 1960. Effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.*, 52: 272-274
- Franquin, P. et F. Forest.** 1977. Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. *L'Agron. Trop.*, 32 (1): 7-11
- Freteaud, J.C., R. Poss et H. Saragoni.** 1987. Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques *in situ* sous culture de maïs. *L'Agron. Trop.*, 42 (2): 94-102.
- Marquette, J.** 1986. Maintien et amélioration des rendements du maïs sur les terres de Barre dans le sud du Togo. *L'Agron. Trop.*, 41(2): 132-148.
- Poss, R. et H. Saragoni.** 1987. Quelques problèmes posés par l'estimation du bilan hydrique en plein champ. *Bull. GFHN*, 22: 32-46.
- Robins, J.S. et C.E. Domingo** 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agron. J.*, 45: 618-621.
- Salter, J.P. et J.E. Goode.** 1967. Crop responses to water at different stages of growth. *Commonw. Bur. Hortic. Plant Crop Res., Rev.* 2.

LES PRINCIPAUX FACIES SALINS ET LEUR EXPRESSION DANS LES SOLS DES REGIONS CHAUDES

Jean Yves Loyer
José Luis González Barrios
Jean Olivier Job

Résumé

Les phénomènes de concentration dans les eaux et de remontées capillaires dans les sols, favorisent l'expression des sels solubles à la surface des sols naturels ou cultivés des régions chaudes. Ces sels subissent des évolutions, en particulier, sous l'influence des pratiques hydro-agricoles, qui peuvent induire une dynamique rapide de ces systèmes très évolutifs dans l'espace et dans le temps. La nature anionique des sels précipités ou susceptibles de se former à partir de la solution du sol est proposée comme critère pour différencier ces manifestations évaporitiques selon six faciès salins principaux : 1. Chloruré acide à très acide, 2. Chloruro-sulfaté neutre; 3. Sulfaté neutre; 4. Sulfaté acide; 5. Carbonato-sulfaté alcalin; 6. Carbonaté basique. Des exemples de ces faciès, identifiés dans divers pays arides sont montrés et une présentation en diagramme triangulaire est proposée.

Resumen

Los fenómenos de concentración en las aguas y de ascenso capilar en los suelos favorecen la expresión de sales solubles en la superficie de los suelos naturales o cultivados de las regiones cálidas. Esas sales sufren evoluciones, particularmente bajo la influencia de prácticas hidro-agrícolas que pueden inducir una dinámica rápida de estos sistemas muy evolutivos en el espacio y en el tiempo. La naturaleza aniónica de las sales precipitadas o susceptibles de formarse a partir de la solución del suelo, es propuesta como criterio para diferenciar esas manifestaciones evaporíticas según seis facies salinas principales : 1. Cloruro ácida a muy ácida; 2. Cloruro-sulfatada neutra; 3. Sulfato neutra; 4. Sulfato ácida; 5. Carbonato-sulfato alcalina; 6. Carbonato básica. Se propone una presentación en diagrama triangular de esas facies y se muestran ejemplos, de ellas, identificados en diversas regiones áridas del mundo.

Summary

Under tropical or mediterranean conditions, evaporation of soil water or soil solution, may lead to salt precipitations at the surface of natural or irrigated soils. All systems leading to surface evaporation of salts, are liable to rapid evolution mainly due to cultural practices.

A differentiation based on anionic concentration of surface deposits consisting of six different classes is proposed : 1. Soils with chloride and acid or very acid pH; 2. Soils with chloride, sulfate, and neutral pH; 3. Soils with sulfate and neutral pH; 4. Soils with sulfate and acid pH; 5. Soils with carbonate, sulfate and alkaline pH; 6. Soils with carbonate and basic pH. Data taken from examples in various arid countries are given. A triangular diagram is proposed.

Introduction

A des degrés divers, 323 millions d'hectares de sols sont affectés par les sels sur la planète (Beck *et al.*, 1980), dont 20 à 25 millions d'hectares par influence anthropique (FAO). Répartis depuis les marais et deltas littoraux, jusqu'à 4 000 m d'altitude dans les plateaux andins, ce sont essentiellement les régions chaudes, arides, semi-arides, tropicales ou méditerranéennes qui sont touchées en raison d'un bilan évaporatoire positif toute ou partie de l'année, par rapport à des apports hydriques faibles. Ceci induit un drainage climatique déficitaire, des écoulements endoréïques, accompagnés de phénomènes de confinement et de concentration dans les eaux superficielles. Au niveau des sols, les importantes remontées capillaires qui s'y manifestent, conduisent à privilégier dans ces régions les processus ascendants et les accumulations salines de surface.

Les échelles de temps de ces phénomènes, qui en régime naturel sont de quelques dizaines de milliers d'années (B.P.) en relation avec les cycles climatiques quaternaires, deviennent très rapides (quelques années à quelques centaines d'années) sous intervention humaine (salinité dite secondaire). La conduite d'une irrigation répétitive essentiellement avec absence de drainage, soit après utilisation d'eaux de médiocre qualité, soit sans contrôle de la nappe phréatique, en est la cause la plus fréquente (Delta central du Niger en 25 ans, Aubert, 1977; N'Diaye, 1987), ou vallée de l'Euphrate et Mésopotamie en quelques siècles (Jacobsen, 1982).

Critères de différenciation des sols salins

Les critères de différenciation des sols salins ne sont pas évidents pour le pédologue dont l'objet de préoccupation est composé d'au moins deux phases en présence, l'une liquide, l'autre solide, et entre lesquelles des échanges continus se manifestent :

- La simple réalisation d'un extrait aqueux de sol pour en extraire une solution représentative (extrait saturé normalisé) est déjà un artefact par rapport à la solution réelle existant dans le sol.

- Pour ces raisons, l'exploitation de données géochimiques telles que l'activité ionique, ou le produit d'activité, si elle est devenue plus facilement accessible, n'est pas totalement satisfaisante même si ces données représentent des notions plus efficaces que la seule expression de la concentration des solutions.

- L'observation, ou mieux l'analyse minéralogique fine de la phase solide du sol permet aussi de déterminer la présence ou l'absence d'une paragenèse ou d'un sel. Elle peut être employée pour différencier des types salins, mais elle n'est que représentative d'un équilibre des deux phases à un moment donné de leur histoire, sans relation obligatoire avec la dynamique actuelle du milieu.

- Dans le cas de cette étude nous avons utilisé les deux critères, géochimiques (Coll. F. Sondag, ORSTOM-Bondy) et minéralogiques : "Bilion" (JOB *et al.*, 1986) est par exemple un programme de calcul des bilans ioniques des différentes solutions du sol (extraits aqueux et eaux de nappes), qui permet d'interpréter les analyses chimiques des éléments majeurs en donnant les concentrations des ions libres et leurs activités, les concentrations en ions appariés et la force ionique de la solution, à partir d'une composition saline de départ (cf. tableau 5). Il permet ainsi de calculer le produit des activités de différents ions dans une solution et de le comparer au produit de solubilité de chaque minéral (test de saturation).

L'analyse par diffractométrie des rayons X a également été utilisée pour déterminer la nature des diverses espèces minérales reconnues à la surface des sols (poudres, croûtes, cristaux, efflorescences) (Coll. Mme G. Millot, ORSTOM-Bondy).

Par ailleurs, n'ont été considérés comme "salins" selon les normes de l'International Society of Soil Science (IRB, Loyer, 1989), que les sols contenant des sels plus solubles que le gypse et le calcaire, c'est-à-dire toute la série des sels minéraux évaporitiques dont le produit de solubilité exprimé en $\log K$ à 25 °C, est supérieur à 4,85. Le tableau ci-joint exprime la solubilité de quelques sels minéraux purs concernés (Tableau 1). Celle-ci peut être modifiée par une plus ou moins forte hydratation ou par des mélanges de sels selon les solubilités des sels correspondants. A ce titre, ni les sols uniquement calcaires ou uniquement gypseux, ni les sols uniquement à jarosite, n'ont été pris en compte dans la série saline au sens pédologique. D'autres anions, phosphates et nitrates en particulier, bien que très solubles dans l'eau (880 g/l pour NaNO_3 à 20 °C), et très mobiles dans les sols, ne sont pas non plus pris en considération parmi les sols salins.

TABLEAU 1
 PRODUITS DE SOLUBILITE DE QUELQUES SELS MINERAUX EVAPORITTIQUES
 (LOG K 25°C) (D'APRES AL DROUBI, FRITZ, RISACHER, VAN BREEMEN, WOOD)

Jarosite	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$	- 24.89
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	- 17.02 (0,38 g/l. 20°C)
Calcite	$CaCO_3$	- 8,4
Magnesite	$MgCO_3$	- 8.0
Gypse	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	- 4.85 (2,00 g/l. 20°C)
Blödite	$Na_2Mg(SO_4)_2$	- 2.35
Epsomite	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	- 2.13
Arcanite	K_2SO_4	- 1.78 (109 g/l. 20°C)
Mirabilite	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	- 1.5
Trona	$Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$	- 1.3
Natron	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	- 1.1
Thenardite	Na_2SO_4	- 0.86 (209 g/l. 20°C)
Nahcolite	$NaHCO_3$	- 0.54
Thermonatrite	$Na_2CO_3 \cdot H_2O$	- 0,010
Sylvite	KCl	+ 0.78 (350 g/l. 20°C)
Halite	NaCl	+ 1.58 (360 g/l. 20°C)
-	$MgSO_4$	+ 4.27
Hydrophilite	$CaCl_2$	+ 11.49 (427 g/l. 20°C)
Chloromagnesite	$MgCl_2$	+ 22 (640 g/l. 20°C)

Parmi les cations majeurs, le sodium est le plus largement représenté dans ces solutions relativement au calcium, magnésium et potassium. Sa présence en grande quantité sous forme soluble, entraîne obligatoirement la fixation d'une certaine proportion de celui-ci sous forme échangeable sur le complexe adsorbant du sol mais la structure des agrégats reste stable et floculée tant que la solution du sol est salée, contrairement aux sols de la série alcaline.

En outre, les normes de concentration minimale admises pour considérer un sol comme salin n'ont pas été abordées ici, sachant qu'elles sont variables selon les pays, et aussi selon la nature des sels dominants (8 à 15 mS/cm de conductivité électrique sur l'extrait de pâte saturée). La relation de ce paramètre avec la concentration totale en sels d'une solution est bonne, exprimée en poids ou en mé/l, mais elle est variable selon les espèces minérales et selon les différents mélanges de ces sels. Elle doit donc être établie pour chaque grande unité géographique, comme par exemple la courbe moyenne réalisée pour les sols de la partie ouest des Etats Unis par le laboratoire de Riverside (USSR, 1954).

Selon l'extrait aqueux utilisé, les proportions des différents ions solubilisés sont variables, et doivent être mesurées pour chaque rapport sol-solution et pour chaque grande région considérée (Podwojewski et Petard, 1988, en Nouvelle-Calédonie; Le Brusq et Loyer, 1982; Fleuve Sénégal).

Principales manifestations salines dans les sols

En régions chaudes à longue saison sèche, de fortes concentrations salines s'expriment à la surface des sols sous des formes diverses (poudres, croûtes, efflorescences), plus ou moins continues. Elles subissent du fait de la mobilité des sels, de fortes variations spatiales et temporelles dans leurs manifestations, soit saisonnières, soit même journalières. Il est difficile de considérer ces précipitations salines isolément, car elles appartiennent à des séquences géochimiques continues, verticales ou latérales, et les classifications monospécifiques aboutissent obligatoirement à des recouvrements (Fitzpatrick, 1980).

Néanmoins, en relation avec quatre facteurs d'évolution tels que le milieu biogéochimique, le climat et en particulier l'aridité, la texture du sol, la profondeur de la nappe, et selon trois grandes voies géochimiques (acide, neutre ou alcaline), nous avons distingué six faciès salins dans les sols des régions chaudes, représentés sur le diagramme triangulaire de la figure 1 (Loyer, 1989).

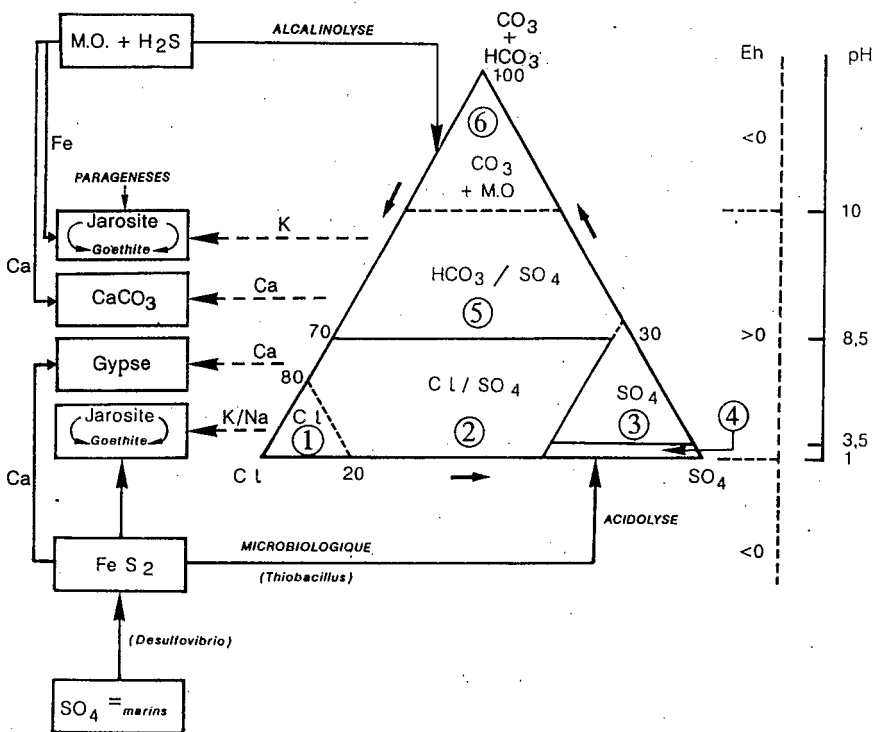


Fig. 1. Principaux faciès salins des sols.

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 - Chlorurée acide à très acide | 4 - Sulfaté acide |
| 2 - Chloruro-sulfaté neutre | 5 - Carbonato-sulfaté alcalin |
| 3 - Sulfaté neutre | 6 - Bicarbonaté basique |

1. *Le faciès salin chloruré.*

Acide à très acide, car influencé par la mangrove (présence de jarosite métastable et de goethite) : pH 5 à 3.

Origine marine stricte, parfois agronomique (apport d'engrais KCl).

$\text{Cl} \gg \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$

$\text{Na} \gg \text{Ca}$ généralement, et NaCl dominant, sauf dans les horizons superficiels où des sels très hygroscopiques précipitent (CaCl_2 et MgCl_2) en fin de séquence verticale. Ils se manifestent par de très fortes variations saisonnières des états de surface : poudres brunes pulvérulentes sensibles à la déflation éolienne (nebkas, dunes, lunettes), ou croûtes salines blanches.

Exemples : Delta du fleuve Sénégal, Basse Vallée de la Gambie; Sine Saloum, Casamance au Sénégal (cf. tableau 2).

TABLEAU 2
FACIES SALIN CHLORURE (CASAMANCE, SENEGAL)
(J.Y. LE BRUSQ *et al.*, 1987)

K60 Profondeur (cm)	Extrait 1/5 - Sels solubles - méq/l - Av. 1985							E 1/5	pH Extrait 1/2,5
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	pH	Conduct. mS/cm	Extr. eau
0-5	4,3	35	162	3,1	180	29	5,3	19,5	5,1
5-26	3,5	34	164	2,3	186	18,5	3,9	19,5	3,5
26-90	3,8	28	169	2,8	191	17	3,3	20,5	3,4
90-110	2,6	15,5	79	1,6	91	15,8	3	11	3,1

2. Le faciès salin chloruro-sulfaté.

Neutre.

Les solutions chlorurées sont affectées par la présence de gypse d'origine sédimentaire dans le milieu, redistribué par les eaux superficielles ou souterraines.

SO_4 et $\text{Cl} > \text{HCO}_3$.

Na, Ca et Mg variables.

Salant blanc à NaCl , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et MgSO_4 .

Exemples : Vallée de l'Euphrate en Syrie et Irak, Laguna de Mapimi au Mexique, sols magnésiens de Nouvelle Calédonie (Podwojewski et Petard, 1988), Chott Djerid, Basse Medjerdah en Tunisie, Marismas du Guadalquivir en Espagne (cf tableau 3).

TABLEAU 3
FACIES SALIN CHLORURO-SULFATE (LAGUNA DE MAPIMI, MEXIQUE)

LAG 18	Croûte saline - Extrait aqueux 1/500 - mé/l											
Surface	CE mS/cm	Ca	Mg	Na	K	Σ^+	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Σ^-	pH
	3.68	0,15	0,09	31.1	0.03	31.4	-	-	27.7	4.5	32.2	5.06
LAG 16	Sol - Extrait de pâte saturée - mé/l											
10-50 cm	80.9	33.0	10.8	1044	2.5	1171	-	52.9	720.2	295.0	1068	7.06
LAG 33	Nappe - mé/l											
	220.0	22.5	133.0	3103	0.6	3267	-	2.7	2113	688	2804	7.4

3. Le faciès salin sulfaté.

Neutre.

Origine continentale.

$\text{SO}_4 \gg \text{HCO}_3 > \text{Cl}$.

$\text{Na} \gg \text{Ca}$.

Expression des sels en surface sous forme de Thénardite et Mirabilite.

Salant blanc pulvérulent.

Exemples : Région Lagunera (Mexique), moyenne vallée du fleuve Sénégal (cf. Tableaux 4 et 5).

TABLEAU 4
FACIES SALIN SULFATE NEUTRE (REGION LAGUNERA, MEXIQUE)

L 45	Croûte saline : Thénardite - Extrait aqueux 1/500 - mé/l - Fév. 1989												
Surface	CE mS/cm	Ca	Mg	Na	K	Σ^+	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Σ^-	pH	
	2.66	0.50	0.18	24.1	0.02	24.8	-	0.23	0.1	25.2	25.5	6.65	
L 50	Sol - Extrait de pâte saturée - mé/l												
10-50 cm	39.7	21.0	28.6	522.0	23.4	595.0	-	5.0	45.6	462.0	512.6	8.17	
L 6	Eau de nappe - mé/l												
70 cm	11.07	11.7	8.5	123.9	0.5	144.6	-	8.1	10.4	142.7	161.2	7.8	

TABLEAU 5
APPLICATION DU PROGRAMME "BILLION" AU SOL SULFATE
DE LA REGION LAGUNERA (MEXIQUE) (TABL. 4)

Echantillon N° 45										
Force ionique : I[N-1] = 0.034 I[N] = 0.034										
Conc init : (me/l)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	pH
	0.49	0.18	24.10	0.02	0.23	25.20	0.23	0.00	0.00	6.6
Ions lib. :	0.33	0.13	23.30	0.02	0.23	22.13	0.21	0.00	0.00	
Sels simp. (corrigs) :	NaCl	CaSO4	MgSO4	Na2SO4	CaCL2	MgCL2	Ca(HCO3)2			
	0.23	0.49	0.18	24.08	0.00	0.00	0.00			
	Mg(HCO3)2	NaHCO3	MgCO3	KCl	K2SO4	CaCO3	Na2CO3			
	0.00	0.22	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00			
Activits (nbre) :	ACA	AMG	ANA	AK	ACL	ASO4	AHCO3	ACO3		
	0.08	0.03	19.61	0.02	0.19	5.36	0.17	0.00		
Paires :	CaCO3	CaSO4	CaHCO3	MgHCO3	MgSO4	Na(CO3)	NaSO4	NaHCO3	KSO4	
	0.00	0.09	0.00	0.00	0.03	0.00	1.21	0.02	0.0	
EC (ds/cm) :	ECmin= 2.64	ECexp= 2.66	ECmax= 2.75	ECpol= 2.65	EClim= 3.15					
	Σ+= 24.79	CO= 25.22	Σ-= 25.66	SO= 23.77	S*= 0.13					
Echantillon N° 50										
Force ionique : I[N-1] = 0.561 I[N] = 0.574										
Conc init : (me/l)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	pH
	21.00	28.60	522.00	23.40	45.60	462.00	5.00	0.00	0.00	8.2
Ions lib. :	9.85	15.30	398.27	19.31	49.22	303.56	2.66	0.00	0.00	
Sels simp. (corrigs) :	NaCl	CaSO4	MgSO4	Na2SO4	CaCL2	MgCL2	Ca(HCO3)2			
	47.31	19.35	26.35	433.61	0.00	0.00	0.20			
	Mg(HCO3)2	NaHCO3	MgCO3	KCl	K2SO4	CaCO3	Na2CO3			
	0.27	4.93	0.00	1.96	19.82	0.00	0.00			
Activits (nbre) :	ACA	AMG	ANA	AK	ACL	ASO4	AHCO3	ACO3		
	0.94	1.29	294.95	14.28	36.28	25.02	1.62	0.00		
Paires :	CaCO3	CaSO4	CaHCO3	MgHCO3	MgSO4	Na(CO3)	NaSO4	NaHCO3	KSO4	
	0.00	4.82	0.03	0.02	5.64	0.00	84.87	2.69	2.4	
EC (ds/cm) :	ECmin= 38.03	ECexp= 39.70	ECmax= 41.82	ECpol= 50.64	EClim= 40.3					
	Σ+=595.00	CO=553.80	Σ-=512.60	SO=442.8	S*= 13.15					
Echantillon N° 6										
Force ionique : I[N-1] = 0.179 I[N] = 0.179										
Conc init : (me/l)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	pH
	11.68	8.55	123.92	0.45	10.35	142.70	8.10	0.00	0.00	7.9
Ions lib. :	7.13	5.60	115.78	0.45	9.82	100.46	5.55	0.00	0.00	
Sels simp. (corrigs) :	NaCl	CaSO4	MgSO4	Na2SO4	CaCL2	MgCL2	Ca(HCO3)2			
	9.79	11.73	8.58	114.62	0.00	0.00	0.62			
	Mg(HCO3)2	NaHCO3	MgCO3	KCl	K2SO4	CaCO3	Na2CO3			
	0.46	6.61	0.00	0.03	0.44	0.00	0.00			
Activits (nbre) :	ACA	AMG	ANA	AK	ACL	ASO4	AHCO3	ACO3		
	0.94	0.74	86.90	0.33	7.37	13.20	4.17	0.00		
Paires :	CaCO3	CaSO4	CaHCO3	MgHCO3	MgSO4	Na(CO3)	NaSO4	NaHCO3	KSO4	
	0.00	2.54	0.07	0.03	1.69	0.00	13.20	2.03	0.03	
EC (ds/cm) :	ECmin= 12.19	ECexp= 11.07	ECmax= 13.27	ECpol= 13.47	EClim= 11.3					
	Σ+=144.60	CO=152.87	Σ-=161.15	SO=149.07	S*= 6.26					

4. Le faciès salin sulfaté acide.

Hyperacide, pH < 3,5

Origine fluvio-marine issue de l'évolution de l'acidité potentielle des mangroves sulfurées, sous climat tropical sec; acidité exacerbée par la sécheresse des dernières années au Sahel africain.

$SO_4 > Cl \gg HCO_3$

$Na > Ca \# Mg$

Acidolyse et précipitations directes à partir de la solution du sol, de sels d'aluminium, de fer ou de magnésium très solubles (Alunite, Tamarujite, Pickéringite, Jurbanite, Coquimbite...); ou précipitations secondaires à partir des eaux de ruissellement.

Salants blancs pulvérulents (Le Brusq *et al.*, 1987)

Exemples : Sine-Saloum et Casamance au Sénégal, Guinée Bissau (Cf. Tableau 6).

TABLEAU 6
FACIES SALIN SULFATE ACIDE (BAO BOLON, SENEGAL)
(J.Y. LE BRUSQ *et al.*, 1987)

BB 20 Profondeur (cm)	Extrait 1/5 - Sels solubles - méq/l								E.S.	pH Extrait 1/2,5
	Al	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	pH	Conduct. mS/cm	Extr. eau
0-10	1	2,2	4	0,04	8,5	4	11,5	3,3	21,4	3,2
40-50	0,8	1,4	2,7	0,1	3,4	4,6	4,8	3,3	4,5	3,1
90-100	2,4	2,8	6,4	0,16	8	7,8	12	3,3	12,5	3,2
130-140	3	3,3	7,1	0,13	8,6	4	18	3,2	-	3,1

5. *Le faciès salin carbonato-sulfaté.*

Alcalin, pH > 8,5

Continental (bassins lacustres endoréiques).

$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 \gg \text{Cl}$

$\text{Na} > \text{Ca}$

Lié à l'évolution aérobie des marécages continentaux après concentration des solutions.

Précipitations de Natron, de Thermonatrite, et de Thénardite.

Salant blanc.

Exemples : polders du lac Tchad (Cheverry, 1974), Durango, (Mexique) (Tableau 7).

TABLEAU 7
FACIES SALIN CARBONATO-SULFATE ALCALIN (DURANGO, MEXIQUE)

Efflorescences salines (Thénardite - Trona) - Extrait 1/500 - mé/l												
Echant. Fév. 89	CE mS/cm	Ca	Mg	K	Na	Σ^+	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Σ^-	pH
D2 Surface	2.3	0.3	0.02	0.6	23.5	24.4	11.6	11.6	0.4	6.2	29.8	10.2
D3 Surface	1.2	0.05	0.06	0.2	11.5	11.8	3.2	5.5	1.7	2.9	13.4	9.8
Eau de nappe superficielle - mé/l												
D1 : 40 cm	1.6	0.7	2.9	1.2	19.0	23.8	1.0	15.7	0.6	2.1	19.4	8.6

6. *Le faciès carbonaté hyperbasique.*

pH > 8,5 et même > 10.

Milieu continental mal drainé, anaérobie, très riche en matière organique et en H₂S, et très concentré en bicarbonates.

HCO₃/CO₃ >> SO₄ >> Cl

Na >> Ca

Le pH très élevé à la surface de ces vases, permet une dissolution de la matière organique (alcalinolyse). Le salant prend une couleur noire, à croûte superficielle.

Salant noir riche en Trona et Gaylussite.

Exemples : vases des polders du lac Tchad (Cheverry, 1974, Tableau 8), Durango (Mexique).

TABLEAU 8
FACIES SALIN CARBONATE BASIQUE (POLDERS DU LAC TCHAD)
(Cl. CHEVERRY, 1974)

Croûte noire superficielle - Extrait 1/200 - mé/l												
Profil 1 Août 70	CE mS/cm	Ca	Mg	K	Na	S ⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	S ⁻	pH
0-3 cm	17.5	tr.	tr.	13	240	253	30	175	13.5	13	231.5	10
3-6 cm	12.5	0.2	0.2	10	185	195.4	26	130	12	16.5	184.5	9.7
Nappe superficielle, - mé/l												
10 cm	6.2	tr.	tr.	4.5	73	77.5	16.5	52.2	4.4	1.4	74.5	9.2

Conclusion

La présence de sels en quantité suffisante confère aux écosystèmes arides, des caractéristiques particulières qui affectent les paysages de faciès typiques, influencent l'aspect du milieu édaphique, l'occupation des sols, et posent une problématique spécifique de mise en valeur agricole. Ces faciès salins ne sont pas figés, mais au contraire très évolutifs sous des influences naturelles, telle que la sécheresse qui affecte périodiquement ces milieux, ou bien sous des influences anthropiques qui peuvent modifier encore plus rapidement ces manifestations salines :

- En basse vallée de la Gambie et en Casamance au Sénégal, certaines vallées rizicoles sont en moins de 15 années devenues hypersalées, avec différenciation de croûte saline (halite) ou d'efflorescences (sulfates mixtes), et totalement incultes, sous l'effet de la sécheresse climatique récente.

- Sur le fleuve Sénégal, il a été montré que la riziculture irriguée pouvait déplacer sensiblement le type de salinité chlorurée préexistant dans les sols naturels, vers un type plus sulfaté, par élimination des sels les plus solubles (chlorures), et enrichissement relatif des sols cultivés en sulfate de calcium (Loyer, 1989). A plus long terme celui-ci pourrait devenir bicarbonaté calcique lorsque les eaux du fleuve lui-même seront en équilibre avec la solution du sol.

- Dans la région Lagunera du Mexique, l'utilisation d'eaux de forage riches en sulfate et en sodium, oriente par faute de drainage, les faciès des sols irrigués vers une forte salinité sulfatée sodique. L'utilisation d'eaux rééquilibrées en calcium grâce à des amendements locaux, devrait pouvoir réorienter ce faciès vers un type sulfaté calcique beaucoup moins nocif pour l'agriculture (González Barrios, 1986).

Bibliographie

ACSAD. 1980. Tour guide. Soil Classification Workshop, Damas.

Aubert, G. 1977. Map of salty soils of Africa in 1976. International Salinity Conference. Lubbock, Texas.

Aubert, G. 1988. Communication Réunion Réseau Zones Arides - Montpellier, sept. 1988.

Beck K.J., W.A. Blokuis, P.M. Driessen, N. Van Breemen, R. Brinkman et L.J. Pons. 1980. Land reclamation and water management: development problems and challenges, IILRI, pub. No. 27, The Netherlands.

- Bouteyre, G. et J.Y. Loyer.** 1989. Sols salés, eaux saumâtres des régions arides, tropicales et méditerranéennes. Principaux faciès et problèmes de mise en valeur. A paraître RZA. ORSTOM, Montpellier.
- Cheverry, Cl.** 1974. Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques. Th. Univ. Strasbourg.
- Fitzpatrick, E.A.** 1980. Soils, their formation, classification and distribution. Longman, London and New-York.
- Garrels, R.M., Christ, C.L.** 1965. Solutions, minerals and equilibria. Harper and Row, New-York.
- González Barrios, J.L.** 1986. Estudio de la repartición de la salinidad en una zona baja (playa) de una cuenca endoreica, en el desierto de Chihuahua. Tesis de licenciatura FCB-Univ. Autónoma de Nuevo León. México, 280 p. + 4 cartas.
- Gueddari, M.** 1984. Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du lac Natron (Tanzanie) et du Chott el Jerid (Tunisie). Th. Univ. Strasbourg.
- Jacobsen, T.** 1982. Salinity and Irrigation in Antiquity. Dyala Basin archaeological projects: Report on essential results 1957-58. Undena publications, Malibu.
- Job, J.O., G. Cochonneau et N. Chevalier.** 1987. Calcul des activités des ions. Estimation de la conductivité électrique par la méthode des polynômes et celle des activités. ORSTOM, Montpellier.
- Le Brusq, J.Y., J.Y. Loyer.** 1982. Relations entre les mesures de conductivités sur des extraits de sols de rapport sol/solution variables dans la vallée du fleuve Sénégal. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 19(3).
- Le Brusq, J.Y., J.Y. Loyer, B. Mougénot et M. Carn,** 1987. Nouvelles paragenèses à sulfates d'aluminium de fer et de magnésium, et leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal. *Sc. du Sol*, 25(3), Plaisir, France.
- Loyer, J.Y.** 1989. Les sols "Salic". International Reference Base for Soil Classification (IRB). ISSS, Rennes.
- Loyer, J.Y.** 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation, distribution et évolution sous cultures. Et. et Th. ORSTOM, Paris.
- N'Diaye M.K.** 1987. Evaluation de la fertilité des sols à l'office du Niger (Mali). Contribution à la recherche des causes et origines de la dégradation des sols dans le Kouroumari. Th. Dr. Ingénieur INP, Toulouse.
- Podwojewski, P., J. Petard.** 1988. Expression des sels solubles et des bases échangeables sur un vertisol calcimagnésique à gypse et à carbonates (La Tamoá, Nouvelle Calédonie). ORSTOM, Nouméa.

Risacher, F., B. Fritz. 1984. Estimation des variations en fonction de la température des produits de solubilité des principaux sels des milieux évaporitiques. *Sc. Géol.* 37-3, Strasbourg.

Tardy, Y. 1980. Géochimie des interactions entre les eaux, les minéraux et les roches. Ed. Sarl. Eléments, Tarbes.

USSLS (United States Salinity Laboratory Staff). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Dept. Agric. Handbook No. 60.

**INFLUENCE DU NIVEAU DE LA PRESSION PASTORALE
SUR LA CONSOMMATION DE DEUX ESPECES ARBUSTIVES
DE LA REGION ARIDE DU CHILI
(CONSEQUENCES POUR LA GESTION PASTORALE)**

**Edouard Le Floc'h
R. Osorio-Barahona**

Resumen

Los resultados presentados aquí provienen de los trabajos hechos en la zona árida de Chile sobre dos especies vegetales arbustivas: *Bridgesia incisifolia* muy apreciada por el ganado y *Flourensia thurifera* quien es poco palatable. La experimentación consistió en aplicar sobre estas especies altas cargas animales (1,5 cabra/ha/año) o muy altas (3 cabras/ha/año) durante un breve lapso de tiempo. Se observa que frente a esos niveles de carga, las dos especies vegetales son muy consumidas, lo que para *Flourensia thurifera* es una contradicción en comparación a lo que pasa en la situación tradicional de pastoreo con muy baja carga promedio (0,6 cabra/ha/año). En conclusión, se sugiere que estas grandes cargas en un corto lapso de tiempo podrían constituir una técnica de mejor manejo de los pastizales invadidos por las especies vegetales poco palatables.

Résumé

Les travaux dont les résultats sont présentés ici ont été menés en zone aride du Chili sur deux espèces végétales arbustives, l'une très appréciée (*Bridgesia incisifolia*) et l'autre habituellement délaissée du bétail (*Flourensia thurifera*). L'expérimentation a consisté à appliquer, à ces espèces, des charges animales élevées (1,5 chèvres/ha/an) ou très élevées (3 chèvres/ha/an) durant un bref laps de temps. Il ressort que face à ces niveaux de charge, les deux espèces sont très bien consommées, ce qui pour *Flourensia thurifera* est en contradiction avec ce qui se passe dans la situation traditionnelle du pâturage à très faible charge moyenne (0,6 chèvre/ha/an). En conclusion, il est suggéré que ces charges fortes, sur un temps court, puissent constituer des techniques permettant une meilleure gestion des pâturages envahis par des espèces végétales peu appréciées.

Summary

Presented here are the results of work done in the arid zone of Chile on two shrubby plant species, one of which is preferred (*Bridgesia incisifolia*) by cattle while the other is eaten only rarely (*Flourensia thurifera*). Experimentation consisted of imposing on both plant species high (1,5 goats/ha per year) or very high (3 goats/ha per year) animal pressures during a short period. Due to these pressure levels, it appears that both plant species are abundantly consumed. In the case of *Flourensia thurifera*, this is contradictory with what happens in the

traditional situation of grazing with a very low animal pressure average (0,6 goat/ha per year). As a conclusion, it is suggested that these high pressures during a short period can be used as techniques to improve the management of grassland invaded by unpalatable plant species.

Les recherches se situant à l'interface végétal-animal ont souvent pour objet l'étude du comportement de l'animal : rythmes d'activité, déplacements, sélection des espèces.... De tels travaux ont, par exemple dans la région aride du Chili (Diaz, 1987; D'Herbes, 1988), conduit à distinguer des catégories d'espèces végétales selon leur niveau d'acceptabilité en fonction de leur disponibilité dans le pâturage. Les auteurs sus-cités ont ainsi distingués :

- a) espèces très recherchées quelle que soit leur disponibilité,
- b) espèces seulement broutées occasionnellement même si elles sont abondantes,
- c) espèces dont l'acceptabilité est variable mais sans relation apparente avec leur disponibilité dans les parcours,
- d) espèces dont l'acceptabilité, tout en restant faible, croît avec leur disponibilité.

Ces travaux, conduits dans le contexte d'un système traditionnel de gestion du pâturage où les animaux sont laissés totalement libres dès leur sortie de l'enclos, présentent un grand intérêt en particulier pour les études relatives à la dynamique de la végétation.

Afin de proposer des alternatives au système actuel de gestion des espaces pastoraux, qui entraîne à la fois une réduction des espèces les plus recherchées (catégorie a) et une extension des espèces peu ou faiblement recherchées (catégories b et d), il est nécessaire de connaître l'impact de différents niveaux de pression pastorale sur les divers organes végétaux.

L'expérimentation entreprise

Elle a été menée à la Station de Las Cardas appartenant à l'Université du Chili (Faculté des Sciences Agraires et Forestières) et située dans la IVème Région du Chili sous bioclimat méditerranéen aride inférieur (Caviedes et Daget, 1984).

L'expérimentation a concerné le pâturage, dans des parcelles mises en défens, de deux espèces arbustives caducifoliées, d'été et endémiques de cette région du Chili :

- *Bridgesia incisifolia* Bert. ex Cambess (*Sapindaceae*) appartenant à la

catégorie des espèces très recherchées quelle que soit leur disponibilité,
- *Flourensia thurifera* (Mol.) DC. (*Asteraceae*) classée comme moyennement à faiblement acceptée mais dont l'acceptabilité croît avec la disponibilité.

A chacune de ces deux parcelles dominées par l'une ou l'autre de ces espèces nous avons appliqué des charges animales instantanées fortes (équivalente à 1,5 chèvres/ha/an en un passage des animaux) ou très fortes (équivalente à 3 chèvres/ha/an en deux passages des animaux) par rapport à la charge moyenne traditionnelle calculée de 0,6 chèvre/ha/an.

Dans chaque parcelle des individus de ces espèces ont été marqués, mesurés et dessinés avant et après chaque passage des animaux.

Les résultats

La présentation et l'interprétation des résultats seront faites en retenant trois critères : l'état des rameaux après passage des animaux, les proportions de longueur de rameaux et de nombre de feuilles consommées.

Au tableau 1 sont exprimés sous forme synthétique les résultats déjà présentés en détail par Osorio-Barahona (1989).

TABLEAU 1
EFFETS DE L'INTENSITE DU PATURAGE SUR L'ETAT DES RAMEAUX

Charge animale (chèvres)	Etat des rameaux après passage des animaux (% du nombre de rameaux marqués)				
	intacts	consommés		brisés	
		totalement	partiellement	non tombés	tombés au sol
a) <i>Bridgesia incisifolia</i>					
1,5 chèvres /ha/an	0,9 %	44,8 %	53,5 %	0,4 %	0,4 %
3 chèvres /ha/an	0,0 %	69,6 %	30,0 %	0,4 %	0,4 %
b) <i>Flourensia thurifera</i>					
1,5 chèvres /ha/an	20,7 %	26,6 %	45,8 %	1,8 %	5,2 %
3 chèvres /ha/an	0,2 %	62,7 %	29,9 %	0,4 %	6,8 %

L'état des rameaux n'est cependant qu'une indication relative de l'acceptabilité aussi nous paraît-il important d'exprimer également les résultats en pourcentages de la longueur de rameaux marqués qui ont été consommés (Tableau 2). Cette expression des résultats offre à la fois une meilleure estimation de la phytomasse consommée et une bonne appréciation de la longueur des rameaux qui subsistent et qui permettront la reconstitution du végétal.

TABLEAU 2
EFFETS DE L'INTENSITE DU PATURAGE
SUR LA LONGUEUR DE RAMEAUX CONSOMMES

Charge animale (chèvres)	% de longueur de rameaux consommés	
	<i>Bridgesia incisifolia</i>	<i>Flourensia thurifera</i>
1,5 chèvres /ha/an	70,3 %	79,8 %
3 chèvres /ha/an	79,8 %	84,6 %

Des arguments supplémentaires sont fournis par l'examen des pourcentages de feuilles consommées en fonction de la charge animale (Tableau 3).

TABLEAU 3
EFFETS DU PATURAGE SUR LE POURCENTAGE DE FEUILLES CONSOMMEES

Charge animale (chèvres)	% de feuilles consommées	
	<i>Bridgesia incisifolia</i>	<i>Flourensia thurifera</i>
1,5 chèvres /ha/an	95,1 %	61,2 %
3 chèvres /ha/an	99,8 %	99,1 %

Discussion

Il apparaît, ainsi que cela a déjà été fréquemment démontré, que l'acceptabilité des espèces varie en fonction du menu offert aux animaux, de la charge animale mais également en fonction des critères d'évaluation retenus.....! Quelle que soit la charge appliquée *Bridgesia incisifolia* s'avère être très fortement pâturée en ce qui concerne ses feuilles et fortement pâturée en ce qui concerne ses rameaux. *Flourensia thurifera* faiblement pâturée à la charge traditionnelle devient moyennement pâturée à la charge équivalente à 1,5 chèvres/ha/an et très fortement pâturée à la charge équivalente à 3 chèvres/ha/an.

Ainsi que l'avait déjà signalé D'Herbes (1988 b) *Flourensia thurifera* et les autres espèces de sa catégorie, constituent dans le système traditionnel de gestion des parcours une ressource pastorale certaine à condition que le choix des animaux soit limité à ces espèces. Il est possible d'ajouter que ces espèces constituent également une ressource pastorale dans un contexte de gestion permettant l'application d'une charge animale instantanée forte ou très forte.

Quelques autres remarques nous paraissent également importantes qu'elles soient issues des données exposées plus haut ou qu'elles soient tirées des autres résultats obtenus dans le même programme :

- il n'y a pas de la part des animaux de préférence marquée pour les rameaux orientés dans une direction déterminée; les organes en position apicale et médiane étant, pour les deux espèces et aux deux niveaux de pression animale expérimentés toujours consommés les premiers. Cependant pour *Bridgesia incisifolia* la différence est moins nette entre les organes en position médiane et basale à la charge de 1,5 chèvres/ha/an.

- dans l'expérimentation rapportée ici les caprins ont d'abord consommés les organes florifères, les rameaux et les feuilles en position haute. Même si les caprins préfèrent généralement pâturer les arbustes de port érigé et les organes en position haute leur comportement durant l'expérimentation n'est probablement pas totalement indépendant du fait que les individus des deux espèces étudiées se trouvaient alors aux phases floraison et fructification.

- quelle que soit la charge animale appliquée les chèvres au pâturage ne semblent pas marquer de grandes différences de préférence entre les individus de *Bridgesia incisifolia* qui sont tous, ou presque, très pâturés dès le premier passage. A l'inverse, à la charge animale traditionnelle, de très grandes différences existent entre les individus d'une même population de *Flourensia thurifera* quand à leur acceptabilité. Chez cette espèce l'application

de charges instantanées très fortes entraîne l'atténuation de ces différences d'acceptabilité entre les individus. Une telle remarque est fréquemment rapportée dans la littérature (Burkart, 1976; Le Houérou, 1980; Waechter, 1982) et a donné naissance au concept de "sélection à rebours" (artificial negative selection). Ce concept traduit le fait que les animaux dans des populations végétales présentant ces différences d'acceptabilité tendent à pâturer d'abord, au point de les faire disparaître, les individus des phénotypes les plus valables et privilégient ainsi l'extension des phénotypes les moins intéressants pour la ressource pastorale.

- dans notre expérimentation, malgré les pressions forte ou très forte exercées par les caprins, une proportion non négligeable des rameaux même endommagés des deux espèces étudiées (Tableau 1) reste en place après le passage des animaux et préserve ainsi la capacité de récupération des individus.

Tous ces résultats laissent supposer que la mise en oeuvre d'un système de gestion pastoral basé sur l'application sur un bref laps de temps d'une charge animale forte suivi d'une assez longue période de repos permettrait à la fois de régénérer les populations d'espèces trop intensément pâturées et d'accroître l'utilisation d'une ressource pastorale habituellement sous exploitée et constituée par les individus des espèces physionomiquement dominantes mais d'acceptabilité réduite. Les modes de gestion que l'homme a appliqué aux espaces qu'il exploite ont déjà profondément modifiés les paysages végétaux. Ces paysages, la végétation et la flore qui les constituent présentent encore une certaine flexibilité et l'homme qui les utilise de façon maladroite peut aussi sur la base de connaissances scientifiques précises en améliorer l'exploitation à son bénéfice immédiat et dans le souci de rendre ses ressources durables.

Bibliographie

- Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis mimosoideae*. Haward Univ. Arnold Arboretum.
- D'Herbes, J.M. 1988 a. Analyse Agro-Ecologique des systèmes de production pour le développement rural intégré des zones arides. Chili: IVème Région - 1ère Partie: Problématique du développement des communautés agricoles. Rapport de fin de contrat, 129 p.
- D'Herbes, J.M. 1988 b. Analyse Agro-Ecologique des systèmes de production pour le développement rural intégré des zones arides. Chili: IVème Région. 2,3 et 4ème Parties: Recherche et développement dans les communautés agricoles. Rapport de fin de contrat, 255 p.

- Diaz, S.J.** 1987. Recursos forrajeros y comportamiento del ganado caprino en dos localidades del secano árido mediterráneo. Tesis Ing. Agron., Univ. de Chile, Fac. Ciencias Agr. y Forest., Santiago, 255 p.
- Le Houérou, H.N.** 1980. Les fourrages ligneux en Afrique du Nord. Colloque: Les fourrages ligneux en Afrique (édit. Le Houérou), C.I.P.E.A. Addis-Abeba: 57-84.
- Osorio-Barahona, R.** 1989. Conséquences biologiques des variations du climat, de l'intensité de la coupe mécanique et du pâturage sur deux espèces arbustives de la région aride du Chili. Thèse Doct. Univ. Sci. et Techn. du Languedoc, Montpellier. 251 p., annexes.
- Waechter, P.** 1982. Etude des relations entre les animaux domestiques et la végétation dans les steppes du Sud de la Tunisie. Implications pastorales. Thèse Doct. Ing. Univ. Sci. et Tech. du Languedoc, Montpellier. 293 p.

L'ÉCOLOGIE ET LE COMPORTEMENT DES ÉQUINS ET DES BOVINS BRONCO

Patrick Duncan

Résumé

Les lignées qui ont donné naissance aux bovidés (*Bovidae*) et équidés (*Equidae*) actuels se sont séparées il y a quelques 50 millions d'années. Malgré tout, ces animaux sont écologiquement très similaires: ce sont les uns et les autres des herbivores coureurs de taille moyenne qui se nourrissent préférentiellement de graminées. Ils ont cependant des systèmes digestifs très différents, les bovidés étant des polygastriques alors que les équidés ont une fermentation caecale. Les caractéristiques écologiques de ces animaux, et plus particulièrement celles des populations ensauvagées (*bronco*) font ici l'objet d'une comparaison. Chez les populations sympatriques il y a un chevauchement important des régimes alimentaires, mais les bovins consomment une gamme d'espèces végétales plus étendue que les équins qui généralement sont strictement brouteurs. Le pâturage intensif par les deux espèces peut influencer fortement la structure des communautés végétales en favorisant les espèces ligneuses au détriment des graminées. Chez ces animaux, la formation de groupes semble être principalement la manifestation d'un comportement anti-prédateur. Les systèmes de reproduction des chevaux ensauvagés sont très similaires à ceux des chevaux sauvages; par contre la reproduction des bovins ensauvagés est mal connue. Les paramètres démographiques sont analogues bien que les chevaux aient tendance à se reproduire plus tard et plus lentement, qu'ils aient des taux de survie plus élevés et donc une plus longue durée de vie. Le peu de données disponibles sur la régulation des populations semblerait indiquer, en dernière analyse, qu'elle est la conséquence de la limitation des ressources alimentaires. Les équins et bovins ensauvagés peuvent avoir un impact très important sur les réserves naturelles; la gestion de ces animaux est souvent très délicate et doit donc s'appuyer sur une étude approfondie des populations locales et des facteurs limitants.

Resumen

Las castas que han dado origen a los actuales bóvidos (*Bovidae*) y equinos (*Equidae*) se separaron hace unos 50 millones de años. A pesar de todo, esos animales son muy similares ecológicamente: ambos son herbívoros corredores de estatura mediana que se alimentan preferentemente con gramíneas. Sin embargo, tienen sistemas digestivos muy diferentes, siendo los bóvidos poligástricos cuando los equinos tienen una fermentación cecal. Las características ecológicas de esos animales y sobre todo las de las poblaciones de animales broncos son objeto de una comparación aquí. En poblaciones simpátricas hay una imbricación importante de las dietas alimenticias, pero los bovinos consumen una serie de especies vegetales más amplia que los equinos quienes son generalmente estrictamente pacedores. El pasto intensivo por los dos ganados puede influir fuertemente la estructura de las comunidades

vegetales favoreciendo las especies leñosas en perjuicio de las gramíneas. Entre esos animales, la formación de grupos parece ser principalmente la manifestación de un comportamiento antidepredador. Los sistemas de reproducción de los caballos broncos son muy parecidos a los de los caballos salvajes; en cambio la reproducción de los bovinos no es bien conocido. Los parámetros demográficos son análogos aunque los caballos tengan tendencia a reproducirse más tarde y más lentamente y tengan un coeficiente de supervivencia más elevado y así una duración de vida más larga. El poco de datos disponibles sobre la regulación de las poblaciones parece indicar, en último análisis, que es la consecuencia de la limitación de los recursos alimenticios. Los equinos y bovinos broncos pueden tener un impacto muy importante sobre las reservas naturales; la gestión de esos animales es muchas veces muy delicada y debe pues apoyarse sobre un estudio profundizado de las poblaciones locales y de factores limitantes.

Summary

The lineages leading to present-day grazing bovids (*Bovidae*) and equids (*Equidae*) separated some 50 million years ago. Nonetheless these animals are ecologically very similar: they are all medium-sized cursorial ungulates which feed preferentially on the grasses, *Graminae*. Their digestive systems are, however, very different, the bovids being polygastric and the equids hindgut fermenters. The ecological features of these animals, with particular reference to feral domestic (*bronco*) populations are compared. The diets of sympatric populations overlap extensively, but grazing bovids eat a wider range of plant species than equids which are usually strict grazers. Heavy grazing by both can have a strong impact on plant community structure, favouring woody plants against grasses. The principal function of grouping in these animals appears to be anti-predator. The breeding systems of feral horses are closely similar to those of wild equids; little is known of reproduction in feral cattle. Demographic parameters are similar though horses tend to breed later and more slowly, to have higher survival rates and thus to live longer. The little data available on population regulation suggests that both wild and feral populations are ultimately regulated by food shortages. The impact of feral equids and bovids on nature reserves can therefore be very strong; these animals often require careful management which should be based on a thorough study of the local populations and the factors limiting them.

Introduction

Traiter de l'éthologie et du comportement des bovins et équins ensauvagés, "marrons" ou *broncos* est chose difficile. Il m'a semblé que la meilleure façon d'aborder ce sujet dans le cadre de ce séminaire consistait à mettre l'accent sur les aspects liés à l'utilisation des ressources et à la dynamique des populations. Les informations sur les équins et surtout les bovins *broncos* étant peu abondantes, malgré le fait qu'on en recontre des exemples sur tous les continents, je m'appuierai aussi sur les données disponibles relatives aux formes domestiques et aux espèces sauvages voisines. Dans cet exposé j'utiliserai le terme équidés pour la famille des *Equidae* (chevaux, zèbres et ânes), et celui d'équins pour les seuls chevaux; je ferai de même pour les bovidés et les bovins.

La principale conclusion de cet exposé sera la souplesse du comportement de ces animaux. Equins et bovins sont en effet capables d'adapter leur comportement en fonction des différentes "pressions" environnementales et sociales.

Les animaux qui nous concernent appartiennent à l'ordre des Périssodactyles pour les équidés et à l'ordre des Artiodactyles pour les bovidés. Ce sont des herbivores coureurs de taille moyenne qui ont évolué parallèlement à partir d'origines très différentes depuis 50 millions d'années (Janis, 1976). Tous deux ont besoin des micro-organismes symbiotiques pour digérer les fibres végétales qu'ils consomment; les bovidés les hébergent dans le rumen, organe dont le fonctionnement est très différent de celui du caecum des équidés.

Le rumen est principalement adapté à la digestion efficace de la nourriture. Celle-ci y est retenue et attaquée par des micro-organismes pendant une assez longue période, en particulier lorsqu'elle est de qualité médiocre (riche en fibres), auquel cas la durée moyenne de rétention peut dépasser 3 jours (Alexander, 1952). La quantité de nourriture consommée par les ruminants est donc faible (2 à 3 % du poids vif par jour). Chez les équidés qui ont une fermentation caecale, les contraintes physiologiques ne sont pas les mêmes. La nourriture transite, plus rapidement (Alexander, 1952) et ils peuvent consommer une quantité beaucoup plus importante de nourriture que les ruminants (de 3 à 5 % du poids vif par jour, Duncan *et al.*, soumis). En conséquence, les équins se nourrissent 15 heures par jour, contre 8 en moyenne pour les bovins (Duncan, 1986).

Ces herbivores, bien qu'assez similaires écologiquement, ont des systèmes digestifs qui fonctionnent très différemment. Quelles en sont les conséquences pour l'utilisation des ressources et leur démographie?

Stratégies alimentaires

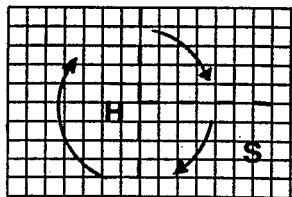
Sélection du biome et du domaine vital

Les deux espèces sont capables de vivre dans une gamme très vaste de biomes. On les trouve des milieux arctiques aux tropicaux, du niveau de la mer jusqu'à plusieurs milliers de mètres d'altitude, à condition qu'il y ait des prairies.

ZEBRES

P.N. Serengeti

P.N. Etosha



> 1 000km²

Ngorongoro
P.N. Krugero



c.100km²

P.N. Mtn. Zèbre



10km²

EQUINS BRONCO

Granite Range



Eté
Hiver

20km²

Grand Canyon



< 50km²

Prior Mts.



15km²

Divers Iles



< 10km²

REFERENCES

Maddock 1979

Joubert 1972

Klingel 1967

Smuts 1972

Penzhorn 1982

Berger 1986

Berger 1977

Feist et
McCullough 1976

Rubenstein 1986

Fig. 1. Domaines vitaux - Equins.

Dans les écosystèmes proches du naturel les équidés ont souvent des domaines vitaux très vastes (plus de 1 500 km² pour le zèbre et le gnou au Serengeti, Fig. 1). Toutefois les dérangements causés par l'homme peuvent imposer des limites aux animaux sauvages (p.ex. zèbres dans le *Mountain zebra National Park*, Fig. 1) aussi bien qu'aux *brancos*. La disponibilité de l'eau constitue une contrainte supplémentaire. Peu d'équins ou de bovins vivent à plus de vingt kilomètres d'un point d'eau en saison sèche (Fig. 2).

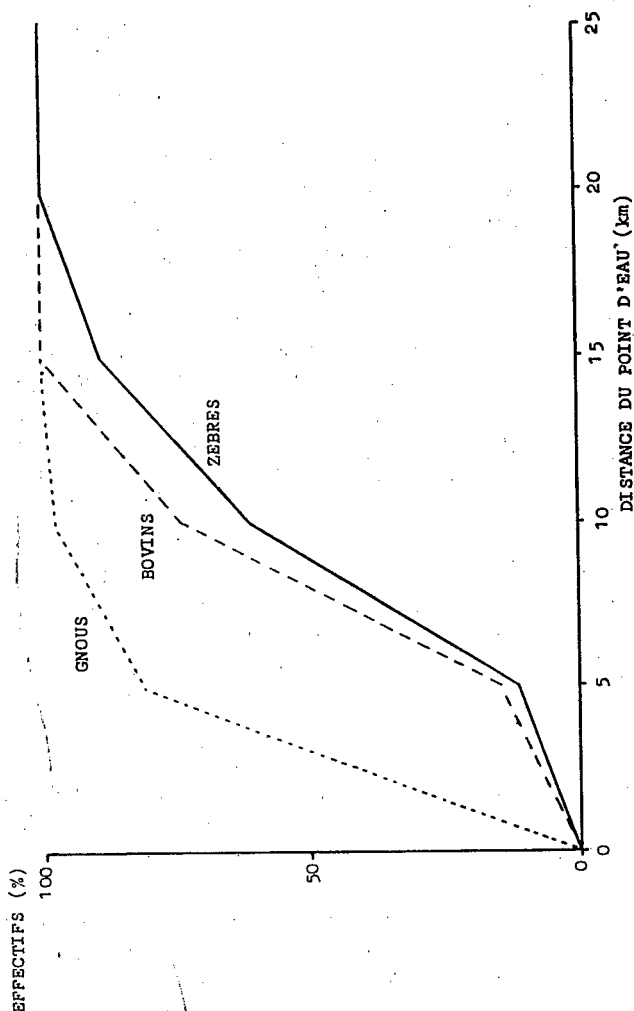


Fig. 2. Distance du point d'eau des zèbres et de deux espèces de bovidés Amboseli, Kenya (Western 1975).

A l'intérieur de ces limites, les animaux n'utilisent pas forcément tout l'espace qui leur est disponible : c'est la répartition des différentes communautés végétales utilisées au fil des saisons qui détermine la taille des domaines vitaux.

Sélection des communautés végétales

Les deux espèces sont éclectiques et "flexibles" dans le choix de leurs communautés végétales préférées. Elles ont des préférences marquées pour certaines d'entre-elles, ces préférences changeant selon les saisons (Duncan, 1983).

- Effet de la disponibilité alimentaire sur les préférences

Équins et bovins ont une préférence marquée pour les communautés offrant une proportion importante de feuillage vert (%) à condition que celui-ci soit disponible en quantité suffisante pour les équins (> 80 g.m², Duncan, 1983). Elles semblent attacher moins d'importance à la nature de la plante.

Elles changent donc de communautés en fonction des saisons et de l'abondance de la matière verte disponible. Si le milieu est à "maille grossière" et que les parcelles des différentes communautés sont vastes (plusieurs centaines de km²), les domaines vitaux seront aussi très vastes et les animaux entreprendront des migrations (Maddock, 1979). Quand la "maille" est fine, les animaux auront des domaines vitaux plus petits et ils seront sédentaires (Smuts, 1972).

- Effet des autres facteurs

L'utilisation d'une communauté par des bovins en milieu aride est fortement influencée par la pente (Cook, 1966). L'épaisseur de l'écran arbustif est également importante, surtout par mauvais temps.

Sélection des aliments

Les feuilles vertes des plantes sont préférées aux tiges et aux parties mortes (Chacon *et al.*, 1976), à condition qu'elles soient suffisamment abondantes.

La nature des plantes utilisées varie selon la saison : souvent il s'agit principalement de graminées pour les deux espèces, mais les bovins consomment souvent davantage de dicotylédones que les équins (Tableau 1). Dans les milieux difficiles, même les équins peuvent avoir un régime où les dicotylédones dominent (Tableau 2).

TABLEAU I
EQUINS ET BOVINS SONT DES SPECIALISTES DES MONOCOTYLEDONES

	Brouteurs				Mangeurs de feuillage	
	Equins		Bovins		Cerf mulet	Antilope américaine
Type de plante						
Cyperaceae	22	5	30	4	1	
Gramineae	99	63.86	89	61.79		1
MONOCOTYLEDONES	99	90.91	89	91.83		1
Herbacés	2	3		3		7
Ligneux	1	1.5	11	2.17	86	88
DICOTYLEDONES	1	3.8	11	2.20	86	95

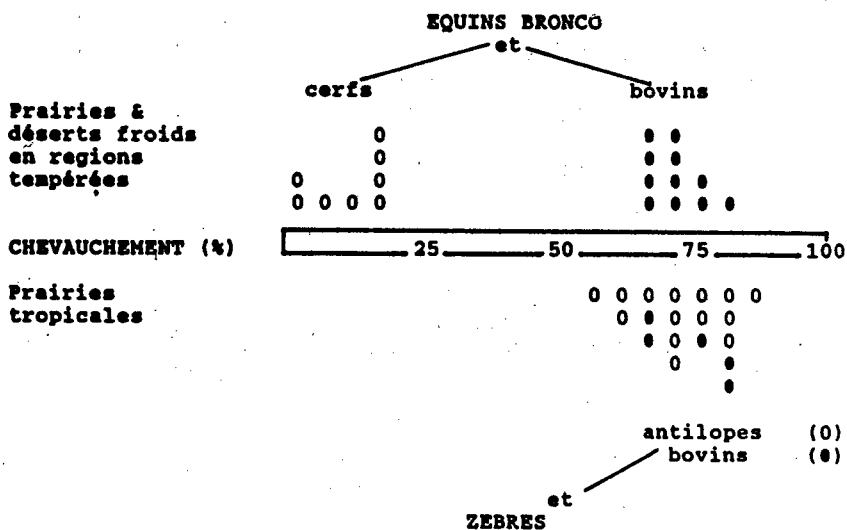
Réfs. Krysl et al. 1984a, Hansen et Clark 1977, Olsen et Hansen 1977.

TABLEAU 2
REGIME ALIMENTAIRE ANNUEL DES EQUINS (%)
DANS LE DESERT DE NEW MEXICO, USA (Hansen, 1976)

MONOCOTYLEDONES		DICOTYLEDONES	
	Gramineae		Ligneux
Sporobolus	21	Salsola	29
Koeleria	12	Prosopis	16
Leptochloa	6	Atriplex	5
Agropyron	3	Muhlenbergia	1
Bouteloua	2		
Setaria	1		
TOTAUX	45		51

Qu'il s'agisse d'espèces ensauvagées ou sauvages, le chevauchement des régimes alimentaires des bovins et des équins est toujours considérable (Tableau 3).

TABLEAU 3
CHEVAUCHEMENT DES RÉGIMES ALIMENTAIRES
(% DU RÉGIME QUI EST IDENTIQUE)



Réfs. Krysl et al. 1984a, Hansen et Clark 1977, Olsen et Hansen 1977,
Gwynne et Bell 1968, Stewart et Stewart 1970, Owaga 1875
Sinclair 1977.

Qualité des régimes alimentaires

Malgré cette souplesse aux trois niveaux du comportement alimentaire, la qualité du régime varie fortement selon la saison; elle est toujours basse en saison de non-croissance des plantes, c'est-à-dire en hiver ou en saison sèche selon la latitude. A ces saisons elle ne suffit, au mieux, que pour l'entretien, elle est rarement suffisante pour l'allaitement (Sinclair, 1977; Krysl *et al.*, 1984; Alden, 1982).

Impact sur les plantes

La consommation et la destruction des plantes par les grands herbivores est à l'origine de modifications importantes au sein des communautés végétales. L'impact des brouteurs ("grazers") comme les équins défavorise les graminées pérennes au profit des annuelles et des ligneux. Les mangeurs de feuillage ("browsers") ont un impact inverse, surtout quand s'ajoute l'action du feu (Pellew, 1983), (Fig. 3, Tableau 4).

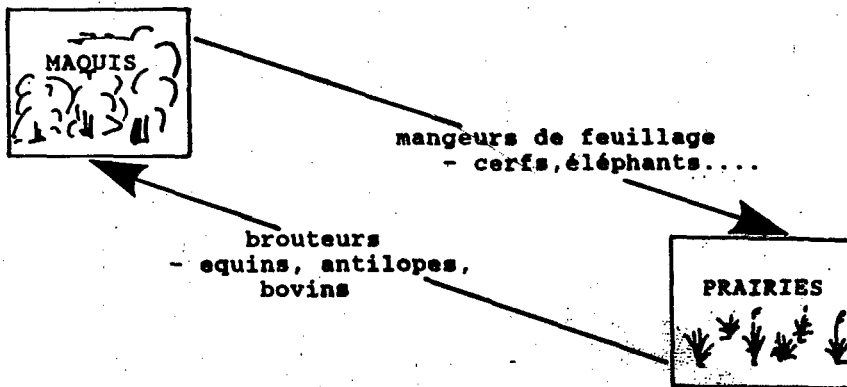


Fig. 3. Les grands herbivores et la dynamique des communautés de plantes.

TABLEAU 4
 RECAPITULATION DES INFORMATIONS CONCERNANT L'ÉCOLOGIE
 ALIMENTAIRE DES ÉQUIDES ET BOVIDES

	ÉQUIDES		BOVIDES brouteurs	
	EQUINS BRONCO	SAUVAGES (zèbres)	BOVINS BRONCO	SAUVAGES (buffles, gnous...)
SYSTÈME DIGESTIF	Monogastrique, fermentation cécale		Polygastrique - fermentation dans le rumen	
STRATÉGIE ALIMENTAIRE	Éclectique		Éclectique	
Biome				
Domaines vitaux	Petit (Migrateurs ou sédentaires)	Variable (Migrateurs ou sédentaires)	?	Variable (Migrateurs ou sédentaires)
Communautés végétales	Éclectique	Flexible	?	Éclectique et flexible
Aliments	Préférence pour les graminées		Préférence pour les graminées, mais plus éclectique que les équidés	
IMPACT SUR LES PLANTES	Favorise annuelles et ligneux		Favorise annuelles et ligneux	
COMPORTEMENT SOCIAL	Petits "harems" qui peuvent se regrouper en grandes hardes		Pas de liens entre femelles	Très variable, flexible
DEMOGRAPHIE				
Survie	c. 0.95 /an (♀♀ad) c. 0.65 /an (s/ad) ♀ = ♂ ou ♀ un peu > ♂	?	?	c. 0.95 /an (adultes) c. 0.75 /an (jeunes) ♀ >> ♂
Reproduction	0.75-1.05 j/♀ad/année		?	0.68-1.2j/♀ ad/an
Augmentation possible	25 % par année		30 % par année	
Regulation naturelle	? Carence alimentaire	?	?	Carence alimentaire (buffles, gnous)

En plus de leur impact sur la composition spécifique des communautés végétales, les grands herbivores peuvent influencer fortement la productivité primaire. En milieu aride celle-ci peut être négative; en milieu eutrophe l'impact peut être positif (p. ex. en prairies tempérées et au Serengeti, McNaughton, 1979).

Ces principes sont valables aussi bien en milieu humide qu'en zones semi-arides ou arides. Les communautés végétales en milieu semi-aride et désertique étant particulièrement sensibles à tout stress environnemental, l'impact des équins et des bovins peut être encore plus fort, comme le Dr. Grouzis nous l'a montré pour le Sahel, et comme ce fut probablement le cas ici dans le désert de Chihuahua (Jansen, 1986).

Cependant nous devons nous rappeler deux choses :

- que le fait pour les grands herbivores d'avoir un impact important sur les écosystèmes est un phénomène naturel, et
- que notre perception de l'impact est nécessairement subjective, et basée sur des objectifs de gestion, explicites ou tacites. Beaucoup de gestionnaires de zones humides considèrent que leur gestion a réussi quand ils sont parvenus à détruire une végétation pérenne (*Phragmites australis*) pour la remplacer par des végétaux annuels tels que les macrophytes submergées.

Le comportement social, anti-prédateur et reproducteur

Comportement anti-prédateur.

Dans les écosystèmes naturels, équidés et bovidés, et plus particulièrement leurs jeunes, sont victimes de prédateurs. L'essentiel du comportement anti-prédateur de ces ongulés consiste en la formation de grands groupes. Lorsqu'il s'agit de prédateurs de petite taille, les adultes essayent de les éloigner. Pour des espèces de la taille des hyènes tachetées (*Crocuta crocuta*), cette méthode s'avère plus ou moins efficace suivant leur nombre (Kruuk, 1972). Pour les prédateurs de la taille du coyote (*Canis latrans*) elle est très efficace. Les coyotes ne s'attaquent aux jeunes équins que si ces derniers sont malades (Berger *et al.*, 1985). Cependant le fait pour les jeunes bovins de se cacher dans la végétation les rend beaucoup plus vulnérables que les jeunes équins, tout du moins pendant les premiers jours où, ce faisant, ils risquent de se retrouver loin de leurs mères.

Dans les écosystèmes où il n'y a plus de grands prédateurs, ce comportement de regroupement ("herding behaviour") peut disparaître : les femelles se nourrissent alors seules ou forment des associations temporaires dans des secteurs offrant une herbe de qualité (Putman, 1986).

Reproduction

Le comportement des mâles se greffe sur les principes de groupement des femelles. Chez les équins les mâles sont polygynes : ils écartent les autres mâles de leurs petits groupes de femelles ("harems" de 1 à 6 femelles avec leur progéniture) pendant toute l'année. La même structure sociale se retrouve chez tous les équidés vivant en milieu mésotrophe (chevaux, zèbres de plaine et de montagne, Berger, 1986). Les harems peuvent être regroupés en grandes hardes.

Les équidés sauvages du désert (zèbres de Grévy et ânes) ont une structure sociale très différente basée sur les groupements instables chez les femelles, et la territorialité chez les mâles. Il est donc probable que la structure sociale des équins (harems) soit mal adaptée au milieu désertique.

Pour les bovins ensauvagés, le peu d'études faites tendraient à montrer que ces animaux ont une structure sociale semblable à celle des buffles (Sinclair, 1977; Schloeth, 1961). Il y aurait chez les mâles une hiérarchie qui déterminerait l'accès aux femelles en chaleur. Ils n'ont pas de liens individuels avec des femelles et passent une grande partie de leur temps avec d'autres mâles. La généralité de ce modèle demande cependant encore à être établie dans les troupeaux de bovins *brincos*.

Démographie et régulation des populations

Reproduction

Si les femelles d'équidés sont bien nourries, leur reproduction peut commencer à l'âge de 2 ans, plus fréquemment à 4 ans chez les *brincos* (Berger, 1986). La gestation dure 11 mois, le taux maximum de reproduction est donc d'un poulain par femelle et par an. Des valeurs proches de celle-ci ont été observées en Camargue et obtenues par déduction à partir du taux de croissance dans les troupeaux de mustangs aux USA (Eberhardt *et al.*, 1982).

Les données sur le taux réel de reproduction chez les animaux ensauvagés sont peu abondantes. On mentionne souvent des chiffres variant de 0.60 à 0.70 jeune/ femelle/ an, mais ces données sont inférieures à la réalité car elles résultent souvent d'observations de femelles suitées et il n'est pas souvent possible de mesurer avec exactitude la mortalité néonatale (Eberhardt *et al.*, 1982). Berger (1986) dans son étude sur les mustangs du Nevada donne entre 0.75 et 0.95 jeune/femelle/an au moins pour les classes d'âge 5-17 ans.

Il n'existe pas de données publiées pour les bovins *bronco*; toutefois étant donné que la période de gestation est de 9 mois, il se pourrait que le taux de reproduction maximum soit beaucoup plus élevé que chez les équidés : peut-être de 1,2 jeune/femelle/an. Chez le Buffle d'Afrique, il est cependant plus bas : < 0.75 jeune/femelle/an.

Taux de survie

Chez les équins *bronco*, le taux de survie peut être très élevé. D'après le travail d'Eberhardt réalisé à partir des données récoltées sur les mustangs aux Etats-Unis, 0.94 constituerait une bonne estimation de la survie annuelle des adultes. Au cours des deux premières années, le taux de survie est plus bas, et se situe probablement entre 0,55 et 0,75 par an (Eberhardt *et al.*, 1982).

Aucune donnée n'est disponible pour les bovins. Toutefois, le taux de survie chez les buffles du Serengeti était similaire à celui des équins adultes (92 à 99 % pour les tranches de 2 à 7 ans), puis diminuait ensuite (Sinclair, 1977).

Taux potentiel d'accroissement des populations

En combinant ces données sur les taux de reproduction et de survie dans des modèles démographiques, on obtient un taux maximum d'accroissement de plus de 20 % par an pour les populations d'équins (Tableau 5). Des chiffres analogues ont été obtenus dans des régions où il n'y a pas de prédation : Camargue (30 %) et aux Etats-Unis pour les mustangs (20 %, Eberhardt, 1982).

Les populations de bovidés sont capables de s'accroître de 30 % par an. Au Serengeti, un troupeau de buffles en expansion, mais soumis à la prédation, avait un taux d'accroissement de 6 à 10 % par an. Cette population a finalement été limitée par les ressources alimentaires, comme

ce fut le cas pour la population sympatrique de gnous (Sinclair, 1977).

Avec un taux annuel d'accroissement de l'ordre de 20 %, les populations d'équidés sont finalement elles aussi limitées par leurs ressources alimentaires. Toutefois si l'on en juge par la stabilité de la population de zèbres du Serengeti à l'époque où la population d'herbivores ruminants était en pleine expansion, d'autres mécanismes doivent intervenir dans la régulation (facteurs sociaux, prédation?, Sinclair et Norton-Griffiths, 1982).

En ce qui concerne les population d'équidés, les facteurs limitants n'ont jamais été évalués quantitativement : ceci devrait constituer une des priorités pour les recherches futures. En attendant nous devons nous attendre à ce que ce soit la disponibilité alimentaire qui limite leurs effectifs (National Research Council, 1980). Ils risquent de causer un fort impact sur les plantes en milieu aride.

En conclusion, malgré leurs systèmes digestifs très différents, les équins et les bovins sont écologiquement très semblables. Ici dans la Réserve de Mapimi vous avez des populations de *broncos*. Ces populations peuvent représenter un danger pour la réserve. Afin d'évaluer leur impact réel, il faudra acquérir une très bonne connaissance de leurs stratégies alimentaires, de leurs performances démographiques et des facteurs limitants locaux. C'est un travail passionnant, mais difficile, ces *broncos* n'aimant pas l'homme. Ne voit-on les vrais *broncos* que quand ils sont morts?

Bibliographie

- Alexander, F. Some functions of the large intestine in the horse. *Quart. Jl. Exp. Physiol.* 37: 205-214.
- Alden, W.G. 1982. Problems of animal production from Mediterranean pastures. In Hacker, J.B. 1982. Nutritional Limits to Animal Production from pastures Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, R.U. 535 pp.
- Berger, J. 1977. Organizational systems and dominance in feral horses in the Grand Canyon. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 2: 131-146.
- Berger, J. et Rudman, R. 1985. Predation and interactions between coyotes and feral horse foals. *J. Mammal* 66 : 401-402.

- Berger, J.** 1986. Wild Horses of the Great Basin. Univ. Chicago Press. 326 pp.
- Casebeer, R.L. et G.G. Koss.** 1970. Food habits of wildebeest, zebra, hartebeest and cattle in Kenya Masailand. *E. Afr. Wildl. J.* 8: 25-36.
- Chacon, E. et T.H. Stobbs.** 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. *Aust. J. Agr. Res.* 27: 709-727.
- Cook, C.W.** 1966. Factors affecting utilization of mountain slopes by cattle. *J. Range Manage.* 19: 200-204.
- Duncan, P.** 1983. Determinants of the use of habitat by horses in a Mediterranean wetland. *J. Anim. Ecol.*, 52: 93-111.
- Duncan, P.** 1985. Time budgets of Camargue horses. III. Environmental influences. *Behaviour* 92 (1-2): 188-208.
- Duncan, P., T.J. Foose, T.J. Gordon, C.G. Gakahu et M. LLoyd** (submitted). Comparative nutrient extraction by grazing bovids and equids: a test of the nutritional models of equid/bovid competition and coexistence. *Oecologia*.
- Eberhardt, L.L., A.K. Majorowicz, J.A. Wilcox.** 1982. Apparent rates of increase for two feral horse herds. *J. Wildl. Manage.* 46 (2): 367-374.
- Feist, J.D. et D.R. McCullough.** 1976. Behavior patterns and communication in feral horses. *BZ. Tierpsychol.* 41: 337-373.
- Gwynne, M.D. et R.H.V. Bell.** 1968. Selection of vegetation components by grazing ungulates in the Serengeti National Park. *Nature* 220: 390-393.
- Hansen, R.M.** 1976. Foods of free-roaming horses in southern New Mexico. *J. Range Mgmt.* 29: 347-348.
- Hansen, R.M. et R.C. Clark.** 1977. Foods of Elk and other ungulates at low elevations in northwestern Colorado. *J. Wildl. Manage.* 41 (1): 76-80.
- Janis, C.M.** 1976. The evolutionary strategy of the Equidae and the origins of rumen and cecal digestion. *Evolution* 30: 757-774.
- Jansen, D.H.** 1986. Chihuahuan desert nopaleras: defaunated big mammal vegetation. *Ann. Rev. Ecol. and Syst.* 17: 595-636.
- Joubert, E.** 1972. The social organization and associated behaviour in the Hartmann zebra, (*Equus zebra hartmannae*). *Madoquia Ser.* 16: 17-56.
- Klingel, H.** 1967. Soziale Organization und Verhalten freilebender steppenzebras (*Equus quagga*). *Z. Tierpsychol* 24: 580-624.
- Kruuk, H.** 1972. The spotted Hyaena. Univ. of Chicago Press, Chicago.

- Krysl, L.J., M.E. Hubbert, B.F. Sowell, G.E. Plumb, T.K. Jewet, M.A. Smith et J.W. Waggoner 1984a. Horses and Cattle grazing in the Wyoming Red Desert, I. Foods habits and dietary overlap. *J. Range Manage.* 37 (1): 72-76.
- Krysl, L.J., B.F. Sowell, M.E. Hubbert, G.E. Plumb, T.K. Jewet, M.A. Smith et J.W. Waggoner 1984b. Horses and cattle grazing in the Wyoming Red Desert, II. Dietary Quality. *J. Range Manage.* 37 (3): 252-256.
- Maddock, L. 1979. The "Migration" and Grazing Succession. In *Serengeti: Dynamics of an Ecosystem*, pp. 104-129. Eds. A.R.E. Sinclair and M. Norton-Griffiths. 389 p.
- McNaughton, S.J. 1979. Grassland/herbivore dynamics. In *Serengeti: Dynamics of an Ecosystem*, pp. 46-81. Eds. A.R.E. Sinclair and M. Norton-Griffiths. 389 p.
- Milne, J.A., L. Bagley et S.A. Grant. 1979. effects of season and level of grazing on the utilisation of heather by sheep. 2. Diet selection and intake. *Grass and Forage Science* 34: 45-53.
- National Research Council, 1980. Wild and free-roaming horses and burros: current knowledge and recommended research. Natl. Acad. Press, Washington D.C.: 382 p.
- Olsen, F.W. et R.M. Hansen. 1977. Food relations of wild free-roaming horses to livestock and big game, Red Desert, Wyoming. *J. Range Manage.* 30 (1): 17-20.
- Owaga, M.L. 1975. The feeding ecology of wildebeest and zebra in Athi-Kaputej plains, *E. Afr. Wildl. J.* 13: 375-383.
- Pellew, R.A.P. 1983. The impacts of Elephant, Giraffe and fire on the *Acacia tortilis* woodlands of the Serengeti. *Afr. J. Ecol.* 21: 41-74.
- Penzhorn, B.H. 1982. Home range sizes of Cape Mountain Zebras *Equus zebra zebra* in the Mountain Zebra National Park. *Koedoe* 25: 103-108.
- Putman, R.J. 1986. Grazing in Temperate Ecosystems. Large herbivores and the ecology of the New Forest. Croom Helm, 210 p.
- Rubenstein, D.I. 1986. Ecology and sociality in horses and zebras, p. 282-302. In *Ecological Aspects of Social Evolution* Eds. D.I. Rubenstein & R.W. Wrangham. 551 p.
- Schloeth, R. 1961. Das Sozialleben des Camarge-Rindes. Qualitative und quantitative Untersuchungen über die sozialen Beziehungen - insbesondere die soziale Rangordnung - des halbwildern französischen Kampfrindes. *Z Tierpsychol.* 18: 574-627.
- Sinclair, A.R.E. & M. Norton-Griffiths. 1982. Does competition or facilitation regulate migrant ungulate populations in the Serengeti? A test of hypotheses. *Oecologia* 53: 364-369.
- Sinclair, A.R.E. 1977. The African Buffalo. Univ. of Chicago Press, 355 p.
- Smuts, G.L., 1972. Home range sizes for Burchell's zebra (*Equus burchelli antiquorum*) from the Kruger National Park. *Koedoe* 18: 139-146.

Stewart, D.R.M. et J. Stewart. 1970. Food preference data by faecal analysis for African Plains ungulates. *Zoologica Africana* 15(1): 115-129.

Van Soest, P.J. 1982. Nutritional Ecology of the ruminant. O. & B Books, Inc., 374 p.

Western, D. 1975. Water availability and its influence on the structure and dynamics of a savannah large mammal community. *E. Afr. Wildl. J.* 13: 265-286.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONS

RECOMENDACIONES GENERALES

1. En vista de que la Reserva de la Biosfera de Mapimí ha demostrado continuidad en sus estudios, es importante establecer una vinculación más estrecha con los proyectos de desarrollo rural que se lleven a cabo en la zona de influencia y posteriormente a nivel regional, es decir, hacer un seguimiento y dar asesoramiento con la finalidad de disminuir la incertidumbre intrínseca de estos proyectos.

2. Establecer el mecanismo de transferencia de los conocimientos básicos generados en la Reserva de la Biosfera de Mapimí a las entidades pertinentes.

3. Continuar los estudios experimentales suelo-agua-vegetación en la reserva y diseñar proyectos específicos de ecología experimental.

4. Continuar con la formación de recursos humanos a nivel postgrado y de licenciatura, así como con la colaboración de los centros de educación superior a nivel regional y nacional.

5. Estrechar la participación inter-institucional a nivel regional, a través de la presentación de proyectos en conjunto, lo cual facilitaría el financiamiento externo.

6. Promover los estudios que se han llevado a cabo en la reserva a un nivel regional.

7. Realizar un taller en el cual se tendría la participación de entidades gubernamentales interesadas en el manejo de zonas áridas, conjuntamente con investigadores que trabajan en la reserva y expertos de otras zonas semejantes.

RECOMENDACIONES ESPECIFICAS

Vegetación

1. Continuar con los estudios de dinámica: o sea, estudios comparativos de mecanismos de equilibrio y umbrales de irreversibilidad bajo distintas condiciones de manejo y con diferentes parámetros ambientales.
2. Continuar los trabajos de ecofisiología de especies autóctonas para comprender mejor el funcionamiento de las comunidades forrajeras.
3. Continuar con los estudios de colonización vegetal en mogotes e iniciar estos estudios en bajada y playas.

Suelo y agua

1. Continuar los estudios de redistribución espacial del agua en la toposecuencia actual, ampliando el número de estaciones de la bajada inferior a la playa.
2. Profundizar los estudios de los mecanismos de funcionamiento y determinar la evolución de los suelos a lo largo de toda la toposecuencia.
3. Elaborar un modelo que relacione el balance hídrico del suelo con la productividad primaria de los pastizales con base en la publicación de los resultados obtenidos hasta la fecha.
4. Establecer módulos experimentales para la retención y filtración del agua en diferentes niveles de la toposecuencia.
5. Proponer a los pobladores locales de la reserva nuevos sitios para el establecimiento de los presones y promover diseños más eficientes para la captación y almacenamiento de agua.
6. Ampliar el estudio de la red de las estaciones pluviométricas a nivel regional.

Ganadería

1. Continuar con los estudios históricos del impacto de la ganadería sobre el ecosistema a nivel regional.
2. Iniciar simultáneamente estudios de herbivoría y relación planta-animal, basado en el aumento de las poblaciones de fauna silvestre, en diferentes zonas de manejo ganadero.
3. Iniciar estudios sobre interacción entre el ganado y fauna silvestre.
4. Determinar la capacidad de carga en función de la potencialidad de la producción forrajera en los diferentes tipos de vegetación, tratando de interactuar con otras instituciones especializadas.

RECOMMANDATIONS GENERALES

1. Les études réalisées dans la Réserve de la Biosphère de Mapimi ayant démontré une continuité, il est important d'établir un lien plus étroit avec les projets de développement rural qui seront menés dans la zone d'influence et ultérieurement à un niveau régional, c'est-à-dire, en participant à ces projets par un suivi et en fournissant l'assistance scientifique, afin de diminuer l'incertitude intrinsèque de ces projets.
2. Etablir le mécanisme du transfert des connaissances basiques générées dans la Réserve de la Biosphère de Mapimi, à des entités pertinentes.
3. Poursuivre les études expérimentales sol-eau-végétation au niveau de la réserve et élaborer des projets spécifiques sur l'écologie expérimentale.
4. Continuer avec la formation de ressources humaines au niveau licence, maîtrise et doctorat, ainsi que la collaboration avec des centres d'éducation supérieure au niveau régional et national.
5. Rendre plus étroite la collaboration inter-institutionnelle au niveau régional, par la présentation de projets conjoints, ce qui faciliterait le financement externe.
6. Promouvoir au niveau régional des études du type de celles qui sont menées dans la réserve.
7. Réaliser un atelier où participeraient des entités gouvernementales chargées de gestion de zones arides, conjointement avec les chercheurs travaillant dans la réserve et des experts d'autres zones similaires.

RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES

Végétation

1. Poursuivre les études de dynamique : études comparatives de mécanismes d'équilibre et seuil d'irréversibilité, sous conditions distinctes de gestion et avec différents paramètres de l'environnement.
2. Poursuivre les travaux d'écophysiologie des espèces autochtones pour mieux comprendre le fonctionnement des communautés fourragères.
3. Poursuivre les études de colonisation végétale dans les *mogotes* et commencer ce type d'étude dans les zones de *bajada* et *playa*.

Sol et eau

1. Poursuivre les études de redistribution spatiale de l'eau le long de la toposéquence actuelle, en élargissant le nombre de stations à la partie inférieure de celle-ci jusqu'à la *playa*.
2. Approfondir les études de mécanismes de fonctionnement de la couverture pédologique et déterminer l'évolution des sols tout au long de la toposéquence.
3. Elaborer un modèle reliant le bilan hydrique du sol avec la productivité des principales espèces fourragères à partir des résultats obtenus jusqu'à présent.
4. Etablir des stations expérimentales pour la rétention et l'infiltration de l'eau à des niveaux divers de la toposéquence.
5. Proposer aux habitants locaux de la réserve de nouveaux sites pour l'établissement des *presones* et promouvoir des solutions techniques plus efficaces et fonctionnelles pour la réalisation de ces *presones*.
6. Elargir l'étude du réseau des stations pluviométriques au niveau régional.

Elevage

1. Poursuivre les études historiques de l'impact de l'élevage sur l'écosystème au niveau régional.
2. Commencer simultanément des études sur les herbivores et les relations plante-animal, basées sur l'augmentation du peuplement de la faune silvestre, dans diverses zones de parcours du bétail bovin.
3. Inicier des études sur l'interaction entre le bétail et la faune silvestre.
4. Déterminer la capacité de charge animale, en fonction de la potentialité de la production fourragère pour les différents types de végétation, en essayant d'obtenir la collaboration d'autres institutions spécialisées dans ce domaine.



Instituto de Ecología, A. C.
Xalapa, Veracruz
México

ORSTOM

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

