

Unités de paysage pour l'hydrologie au Nord du Mexique

RÉSUMÉ

La région hydrologique N° 36 (RH 36), couvrant 92 000 km² au Nord du Mexique, fait depuis 1992 l'objet d'études scientifiques centrées sur le thème de l'eau (dynamique, disponibilité et différents usages agricoles).

Avant d'aborder la phase d'hydrologie expérimentale, il a été établi un recensement des principales unités de paysage représentatives de la RH36, dont les caractéristiques, les organisations et la distribution régissent le ruissellement des eaux superficielles. Cette typologie fait appel au concept de paysage et fournit des informations spatialisées exprimées sous forme d'un système d'information géographique dont l'élaboration s'appuie sur l'information disponible (un modèle numérique de terrain, diverses cartes thématiques à petite échelle et l'imagerie satellitaire), qui a été rassemblée dans une base de données spatiales. A partir de celle-ci, les facteurs considérés, à cette échelle d'intervention, comme les plus déterminants vis-à-vis des dynamiques hydriques superficielles (pentes topographiques, roches et matériaux géologiques, sols, occupation des sols) ont été sélectionnés, analysés et classés par approches successives.

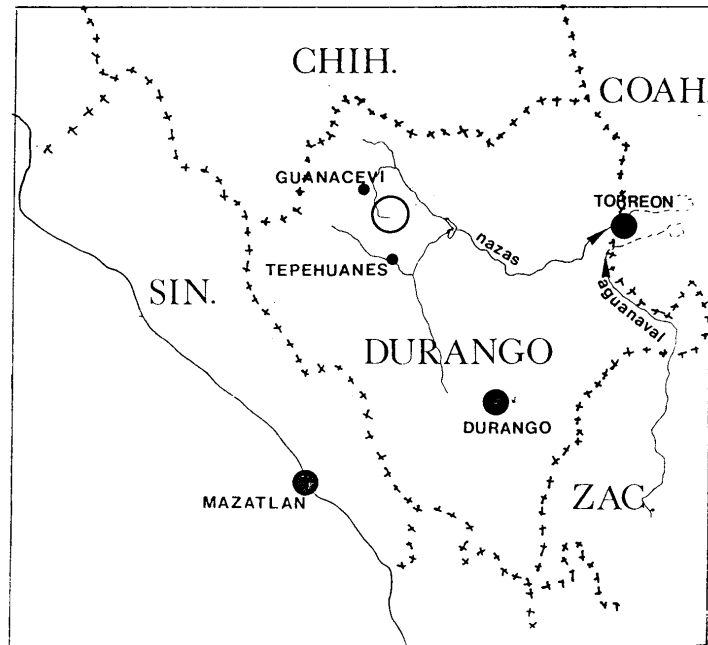
Le croisement des trois premiers plans d'informations a permis la définition de 21 ensembles paysagiques physiques, dont 19 ont été considérés comme hydrologiquement fonctionnels, et de 84 sous-ensembles biophysiques après intégration de la végétation, pour lesquels a été réalisée sur une partie de la région une cartographie actualisée à partir des images SPOT de 1992.

ABSTRACT

The Hydrological Region N° 36 (HR 36) covers an area of 92 000 km² and is located in the north of Mexico. Since 1992 it has been the object of scientific studies on water cycles, availability and different agricultural uses of water.

Before hydrological measurements were begun, an inventory of the main landscape units whose features, structures and distribution determine the runoff of surface waters was carried out. A typology of the landscape units is used in a Geographic Information System to integrate data of a Digital Elevation Model, small-scale thematic maps and satellite images, in a spatial database. The determining factors of the runoff, on this regional scale, are slopes, rocks and geological formations, soils and land uses. These factors have been selected, analysed and classified step-by-step.

FIGURE 1
Localisation de la RH36 et du secteur étudié



The joining-up of slopes, soils and land use plans makes it possible to define 21 physical landscape units, of which 19 are practical for hydrological use. After adding the vegetation, 79 biophysical units were defined. Maps of the vegetation in the western Sierra Madre, taken from SPOT images of 1972 and 1992, are shown in this paper to illustrate the evolution of land cover in part of the HR 36 region.

INTRODUCTION

L'une des 37 régions hydrologiques du Mexique, la RH 36 (figure 1), fait depuis 1992 l'objet d'études scientifiques centrées sur le thème de l'eau. Le projet intitulé "*Uso y Manejo del Agua en las Cuencas Hidrográficas del Norte de Mexico*" est conduit conjointement par le CENID RASPA¹ et l'ORSTOM DEC², à partir du Centre de Gomez-Palacio (Durango). Il s'inscrit dans le cadre d'une convention binationale établie entre l'INIFAP³ du Mexique et l'ORSTOM de France. L'objectif principal du projet est d'estimer la disponibilité en eau de cette grande région hydrologique qui couvre plus de 90 000 km² de superficie au Nord du Mexique, afin d'en optimiser les différents usages agricoles, (usages domestiques, irrigation, abreuvement du bétail, pisciculture).

Le volume total annuel moyen des ressources en eaux renouvelables utilisables est de 1,3 10⁹ m³ dont 300 millions de m³ d'eaux souterraines. La consommation (à 98 % agricole) est de 2,5 10⁹ m³ dont 1,5 10⁹ m³ d'eaux souterraines qui correspondent à 5 fois le volume de la recharge annuelle des aquifères, provoquant leur abaissement de 1,75 mètre par an depuis les années cinquante. C'est dire qu'une meilleure gestion de ces eaux d'irrigation s'avère indispensable.

Au cours d'une première étape, les facteurs conditionnant la ressource, ainsi que ses principales utilisations, ont fait l'objet d'un inventaire et d'une analyse thématique, (ORSTOM, CENID RASPA, 1994). Une première interprétation a pu être établie sur la contribution hydrologique des deux principales unités hydrographiques de la région, les bassins versants des rios Nazas et Aguanaval (figure 2), ainsi que de leurs sous-bassins versants respectifs définis par les emplacements de 10 stations hydrométriques.

Le but de la seconde étape du projet, engagée depuis 1994, est de recenser les principaux systèmes paysagiques représentatifs de la RH 36 sous leurs aspects organisationnels puis fonctionnels vis-à-vis des écoulements superficiels. Cette étape comporte deux volets :

- un recensement des principaux modèles d'organisation des paysages distribués dans la RH 36, et dont les caractéristiques physiques et biotiques régissent les ruissellements hydriques, superficiels et hypodermiques;
- des expérimentations *in situ* visant à appréhender les dynamiques de fonctionnement hydrologique de ces différents modèles.

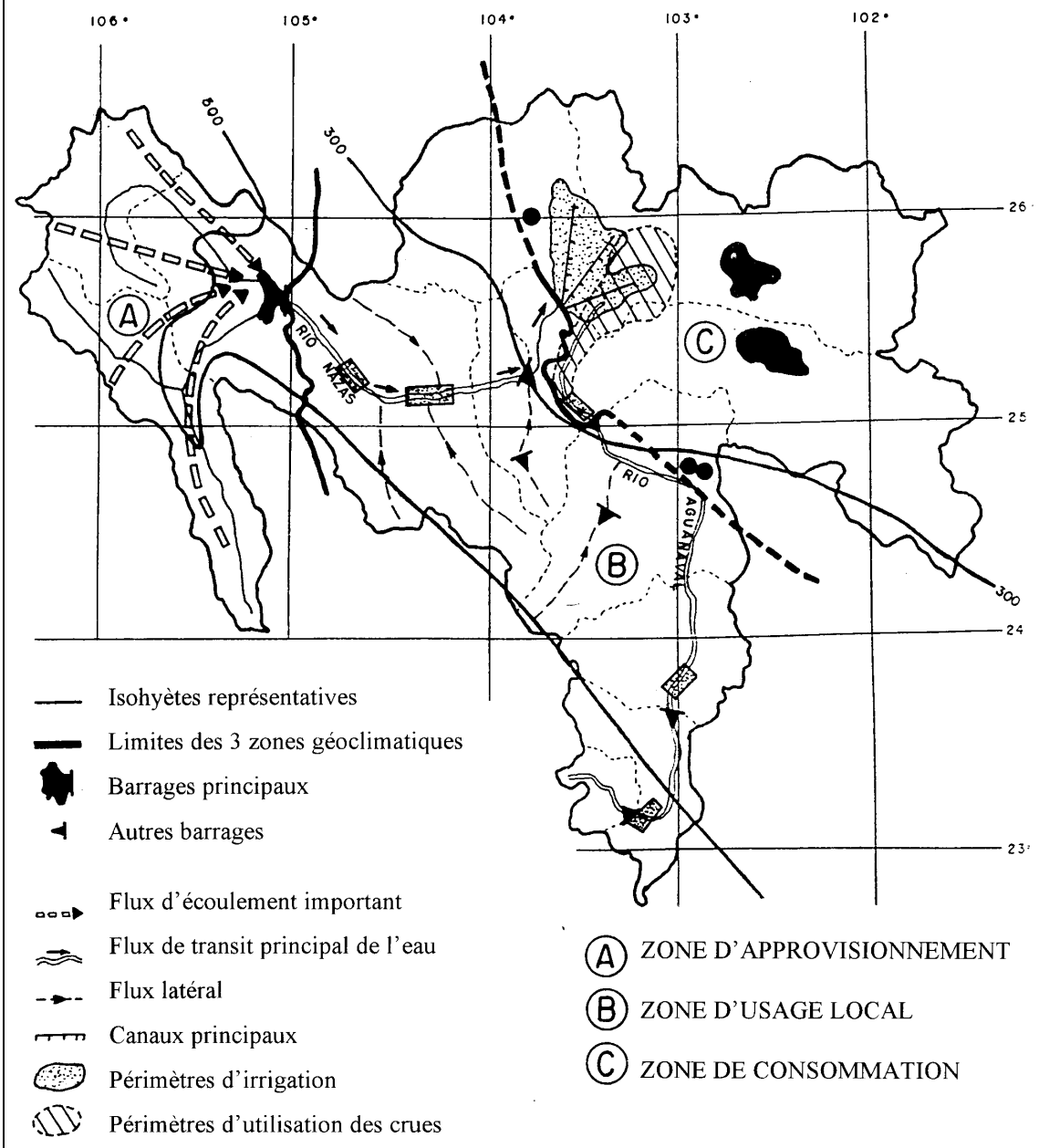
¹ Centro Nacional de Investigacion Disciplinaria en Relacion Agua Suelo Planta y Atmosfera.

² Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. Département des eaux continentales.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

FIGURE 2

Schéma d'organisation des flux dans la RH 36



Cette présentation concerne seulement l'aspect typologique des unités de paysage sur lesquelles sont actuellement conduites les mesures expérimentales nécessaires à l'élaboration d'un modèle de fonctionnement hydrologique global de la RH 36.

OBJECTIF

A partir des informations spatialisées existantes, l'objectif est de fournir à l'hydrologie une identification des systèmes naturels ou anthropisés représentatifs de la région. La démarche fait

appel au concept de paysage. L'étude de leurs caractéristiques, de leur structuration et de leur extension géographique doit être menée en ayant à l'esprit leur rôle préjugé vis-à-vis des ruissellements superficiels. Cet inventaire typologique a servi au choix des bassins versants représentatifs sur lesquels ont été réalisées des expérimentations dont les résultats pourront ensuite être extrapolés à d'autres situations en utilisant l'imagerie satellitaire.

OUTILS

La démarche générale s'appuie sur l'information spatialisée disponible sur la région : un modèle numérique de terrain (MNT), les cartes thématiques et les images satellite.

- Le modèle d'altitude utilisé est un produit de l'INEGI (1992), qui contient une information numérique du relief de l'ensemble du territoire mexicain. Le réseau des points, tirés des cartes topographiques au 1/250 000, est distribué toutes les trois secondes de latitude et de longitude selon 256 degrés carrés, pour tout le pays.
- La saisie des cartes thématiques à l'échelle de 1/ 10⁶ s'est faite sur table DRAWING-BOARD III de grand format, associée à un micro-ordinateur, et sous logiciel MYGALE (ORSTOM).
- Le logiciel de traitement retenu est SAVANE (ORSTOM) dont le programme fonctionne sur une station de travail SUN ; un modèle SPARC IPC a été utilisé.
- Les images satellite SPOT et LANDSAT MSS des années 1972 et 1992 ont été traitées sur une partie de la région, sous le logiciel PLANETES (ORSTOM), dans le but de caractériser l'évolution de la végétation sur une période de 10 ans.

DÉMARCHE

La grande extension géographique de la région a imposé une approche à petite échelle qu'il conviendra d'agrandir sur chacun des sites sélectionnés pour les expérimentations hydrologiques. L'approche typologique s'est faite en trois temps :

1 - Une sélection des principaux facteurs du milieu les plus déterminants à l'échelle régionale vis-à-vis des dynamiques hydriques. Les quatre facteurs sélectionnés, pentes, roches ou matériaux géologiques, sols, et occupation du sol, ont servi à l'élaboration de la base de données spatiales. Chacun des thèmes a ensuite fait l'objet d'une interprétation approfondie à partir de laquelle des classifications par approches successives ont été effectuées. Le croisement des différents plans d'information obtenus a ensuite permis l'élaboration du SIG et une identification des principaux systèmes représentatifs de la région.

2 - Dans un deuxième temps, la démarche a consisté en une caractérisation de chacun des ensembles paysagiques issu du SIG, en termes de composition physique et biotique, en insistant sur la compréhension des principales règles qui président à leur organisation interne. Leur extension géographique et leur distribution dans les trois sous-régions géoclimatiques de la RH 36 ont été analysées, ainsi que les relations avec les unités voisines. La définition du contenu de ces unités nous a obligés à suivre une démarche analytique remontant aux informations les plus détaillées. Une estimation de la capacité de réserve hydrique des sols représentatifs des unités a ainsi été faite à partir de leur texture, de leur profondeur et de leur densité apparente; ces

estimations donnent des ordres de grandeur qui doivent être modulés pour tenir compte de la forte teneur en éléments grossiers de ces paysages montagneux.

3 - Un des points pouvant prêter à discussion est l'ancienneté de l'information cartographique originelle. Des variations liées à des évolutions récentes sont apparues depuis l'élaboration des cartes en 1981, en particulier celles dues à l'érosion. Il en est de même *a fortiori* pour l'occupation végétale de ces sols qui a pu subir d'importantes transformations, allant le plus souvent dans le sens d'une dégradation. Une actualisation de l'information sur la couverture végétale des sols à partir de l'imagerie satellitaire a donc été entreprise. Cet outil est bien adapté ici du fait de la grande extension géographique de la région et de la bonne qualité des images due à la faible nébulosité de ces zones arides et semi-arides. Les résultats de la cartographie de la végétation serviront à affiner le système actuel.

RÉSULTATS

Analyse des différents thèmes

Les pentes

Elles ont été calculées à partir des données altimétriques disponibles dans le MNT. Une carte des pentes de la RH 36 a été créée en format raster par collage de 16 degrés carrés et intégrée dans le logiciel *Savane*; sa précision est du demi-degré. Dans une première analyse, cet intervalle d'un demi-degré a été retenu pour tracer les histogrammes de fréquence relative correspondant à chacun des bassins versants (figure 3); 144 unités sur une amplitude de 0 à 72 degrés ont été obtenues pour la région et exploitées statistiquement.

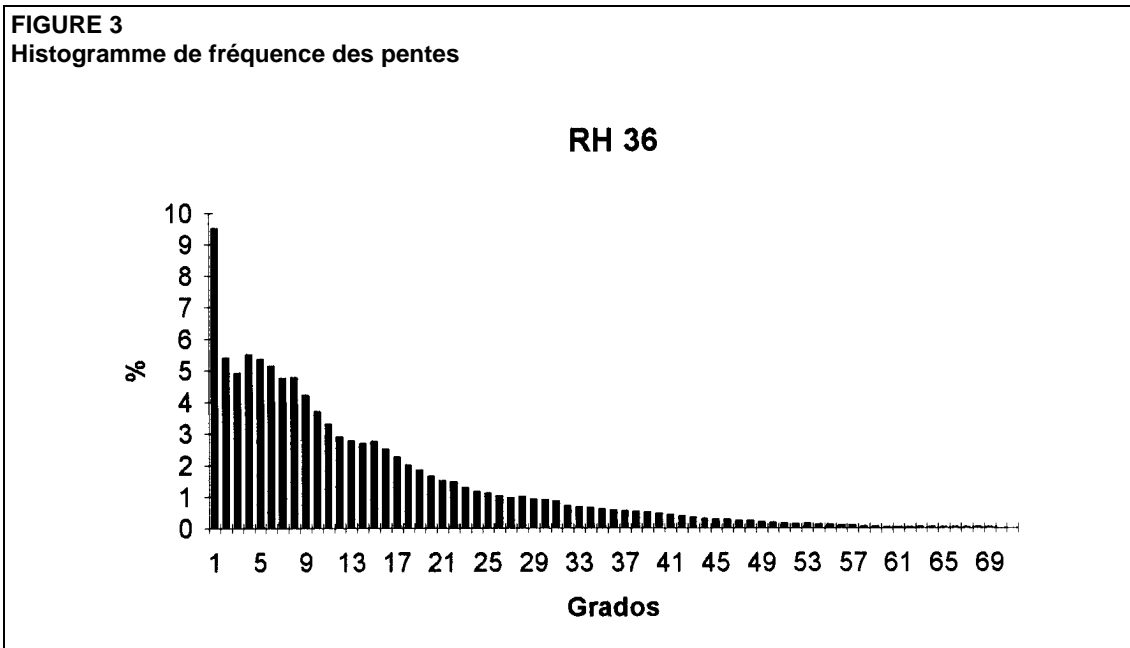
La lithologie

Les 19 types lithologiques initialement identifiés ont été ramenés, après un premier regroupement des roches métamorphiques, à 16 clefs originelles de roches et matériaux d'origine éruptive ou sédimentaire, mais différant surtout par leur comportement à l'eau en fonction de leurs caractéristiques pétrographiques et structurales.

Les sols

En première analyse, 13 variables concernant le type de sol principal de l'unité de paysage et 13 autres caractérisant le sol secondaire de cette même unité ont été retenues. En outre, ont été prises en compte : quatre variables se rapportant au faciès, trois variables texturales et neuf variables physiques faisant intervenir surtout l'induration rocheuse, ou signalant la présence d'une croûte calcaire ou gypseuse, ou d'éléments grossiers de différentes dimensions.

Ces derniers attributs, texture et caractéristiques physiques, jouent un rôle essentiel dans les dynamiques hydriques superficielle et interne, déterminant en particulier la capacité totale de réserve en eau des différents sols. Au total, 42 attributs pédologiques ont été sélectionnés pour caractériser la région.



Végétation et occupation des sols

Les 33 types de groupements végétaux initialement recensés ont été regroupés en 12 unités, sur des critères de similitude d'occupation du sol et de type de recouvrement. Outre les deux unités de cultures pluviales ou irriguées, les cinq groupements naturels les plus représentatifs sont: le *matorral desertico microfilo*, le *matorral rosetofilo*, la *nopalera*, les aires de pâturage naturel et les bois de chênes et de pins. Par contre, deux unités très peu étendues, les lacs et les localités, n'ont pas été prises en compte dans les traitements ultérieurs, ce qui ramène à 10 les types les mieux représentés.

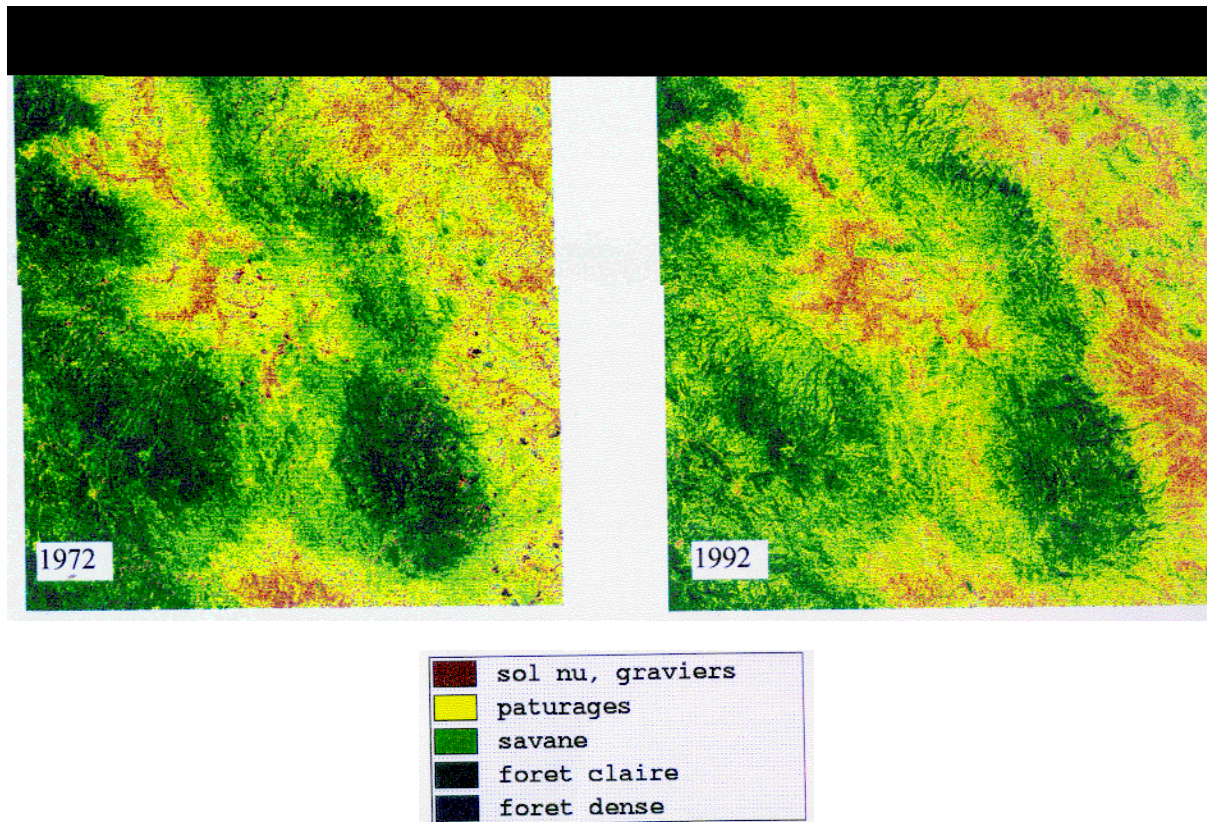
L'analyse de l'évolution de la végétation a été réalisée à l'aide de deux classifications barycentriques sur une zone couvrant 9 500 km² de superficie correspondant aux scènes Landsat MSS de décembre 1972 et 1992 (figures 1 et 4). Le tableau 1 résume les résultats de cette évolution. Dans ce tableau, la zone des savanes correspond grossièrement au groupement des trois unités de *matorral desertico microfilo* (steppe à épineux), de *matorral rosetofilo* (steppe à végétaux aux feuilles en rosettes), et de la *nopalera* (steppe à cactus) lorsqu'elles sont suffisamment couvertes par la végétation. Lorsque la végétation est très peu couvrante, les trois unités correspondent à des zones considérées comme dépourvues de végétation. Les autres unités, comprenant les pâturages et les forêts, se correspondent assez bien dans les deux classifications.

Premières classifications

Pentes

A partir des 144 intervalles initiaux, sept classes basées sur des critères géomorphologiques ont été retenues (figure 5).

FIGURE 4
Evolution de la végétation dans la Sierra Madre Occidentale.



Roches et matériaux

A partir des 16 types lithologiques, une première classification a été établie prenant en compte les deux critères d'induration et de structure; elle permet un regroupement en huit classes de roches et matériaux de caractéristiques physiques et structurales proches, qui déterminent un comportement vis-à-vis de l'eau pré-jugé similaire :

1. Roches indurées massives (granite, granodiorite, diorite, basalte, complexe métamorphique).
2. Roches indurées en bancs (ryolite, grès, calcaires).
3. Conglomérats.
4. Conglomérats cimentés.
5. Alternances stratifiées, (grès et marnes, calcaires et marnes).
6. Matériaux éruptifs très hétérogènes (*toba*: cendres, tufs, conglomérats).
7. Matériaux sédimentaires tendres, (marnes)
8. Formations quaternaires, alluviales, colluviales.

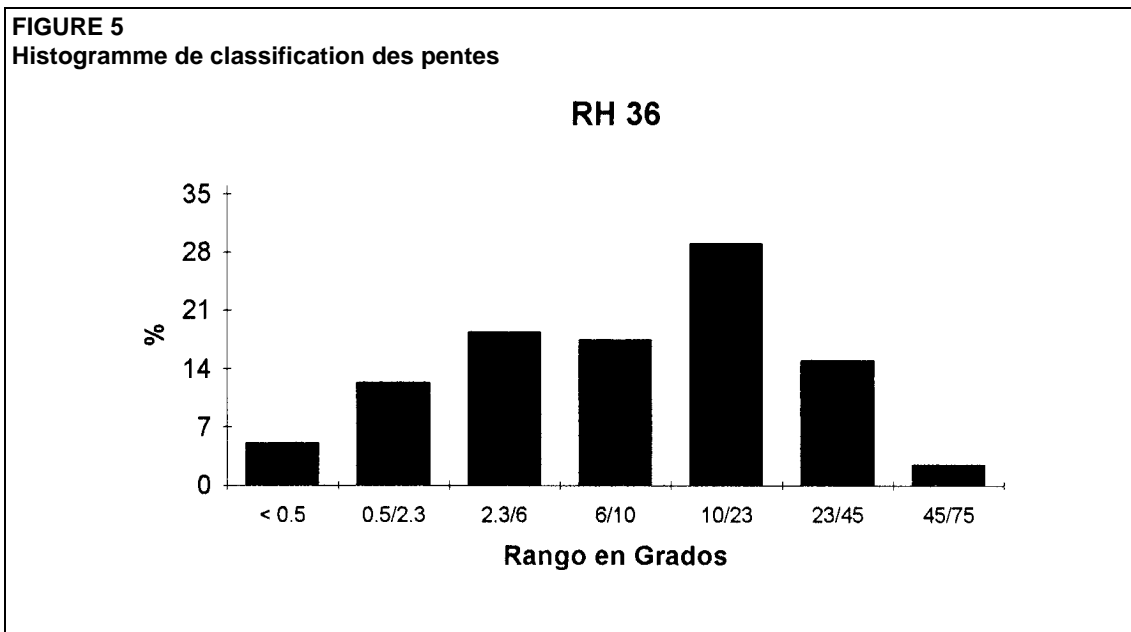
Sols

Un premier croisement des 42 attributs pédologiques fait apparaître 295 combinaisons réellement possibles. Celles-ci intègrent intrinsèquement un certain nombre d'autres caractéristiques édaphologiques telles que la profondeur des sols. Une analyse détaillée et une interprétation de chacune de ces combinaisons ont débouché sur sept classes prenant en compte essentiellement l'épaisseur du sol, sa texture, et la présence d'une induration lithique ou pétrocalcique :

- sols superficiels lithosoliques
- sols superficiels régosoliques
- alternances de sols lithosoliques et régosoliques
- sols peu profonds (50 cm)
- sols moyennement profonds (80 cm)
- sols profonds (>1 m), de texture moyenne
- sols profonds (>1 m), argileux.

TABLEAU 1
Evolution de la végétation par catégorie

	SUPER-FICIES en km ²	%
ZONES N'AYANT PAS CHANGÉ		
Sans végétation	454	4,8
Pâturages	1657	17,4
Savanes	1065	11,1
Forêt claire	815	8,6
Forêt dense	105	1,1
ZONES AYANT CHANGÉ		
EN DÉGRADATION		
de pâturages à sans végétation	759	8,0
de savanes à pâturages	851	9,0
de forêt claire à savane	860	9,0
de forêt dense à forêt claire	286	3,0
TOTAL	2756	29,0
EN PROGRESSION		
de sans végétation à pâturages	512	5,4
de pâturages à savane	656	6,9
de savane à forêt claire	406	4,3
de forêt claire à forêt dense	99	1,0
TOTAL	1673	17,6
ZONES AYANT CHANGÉ FORTEMENT		
EN DÉGRADATION		
de savanes à sans végétation	127	1,3
de forêt claire à sans végétation	18	0,2
de forêt claire à pâturages	251	2,7
de forêt dense à savane	113	1,2
TOTAL	1673	5,4
EN PROGRESSION		
de sans végétation à savane	176	1,9
de pâturage à forêt claire	162	1,7
de savane à forêt dense	33	0,4
de sans végétation à forêt claire	61	0,6
de pâturage à forêt dense	14	0,2
TOTAL	455	4,8



ELABORATION DU SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

Définition des sous-régions

Une interprétation des deux premiers thèmes physiques (altitudes, lithologies) a permis un regroupement par l'origine des matériaux et par les altitudes (en relation avec un gradient pluviométrique d'altitude) et la définition, au sein de la RH 36, de trois sous-régions géo-climatiques relativement homogènes par rapport à ces deux paramètres :

- Une sous-région haute, sub-humide, éruptive et montagneuse de 30 937 km².
- Une sous-région moyenne, semi-aride, sédimentaire, accidentée de 30 696 km².
- Une sous-région basse, aride, plane et endoréique de 29 571 km², dont l'altitude est inférieure à 1 400 m et la pluie annuelle inférieure à 300 mm.

Définition des unités de paysage

Le croisement des deux premiers thèmes, pentes et lithologie, aboutit à un découpage de la région hydrologique en 56 unités litho-topographiques. Croisées avec les sept classes édaphologiques celles-ci différencient 392 combinaisons possibles de paysages.

Un premier tri, supprimant les combinaisons de faibles superficies (inférieures à 0,7 km²), permet de sélectionner 286 ensembles représentatifs du milieu physique de la RH 36 avant d'y intégrer le thème végétation. Ce nombre élevé d'unités différentes ne permet évidemment pas d'envisager de conduire sur chacune d'elle des expérimentations hydrologiques.

Néanmoins, toutes celles-ci ont été répertoriées et analysées statistiquement pour l'ensemble de la région et pour chacune des trois sous-régions. L'interprétation détaillée de toutes ces données et la mise en évidence de certaines ressemblances, ou différences, ont permis d'envisager des regroupements qui ont servi à l'élaboration d'un second niveau de classification.

Classification secondaire

Pentes

Les sept classes initiales ont été regroupées en quatre grandes classes :

- Classe 0,0 - 0,5 degré : représentant les plaines et les bas glacis très peu pentus.
- Classe 0,5 - 6,0 degrés : la plupart des glacis jusqu'au raccordement au piémont.
- Classe 6,0 - 45 degrés : tous les versants et la plupart des collines.
- Classe 45 - 72 degrés : les corniches et abrupts de roches affleurantes.

Lithologie

Sur des critères d'induration, les sept classes initiales ont été regroupées en trois grandes classes :

- roches indurées, (roches indurées, massives, en bancs, et conglomérats cimentés),
- matériaux hétérogènes (alternances stratifiées, matériaux éruptifs très hétérogènes, conglomérats),
- matériaux tendres, (sols et matériaux géologiques tendres).

Sols

Les sept classes initiales ont été regroupées en trois sur des critères de profondeur :

- sols superficiels, (lithosoliques, régosoliques et alternances),
- sols de profondeur moyenne, (faible et moyenne profondeur, lithiques, pierreux, encroûtés),
- sols profonds, (texture moyenne ou argileuse).

Cette seconde classification représente donc trois plans d'information du milieu physique comprenant au total 10 grandes classes. Leur croisement, effectué sur *SAVANE*, aboutit théoriquement à 36 unités physiques; en réalité, quatre d'entre elles ne sont logiquement pas représentées dans la RH 36, car elles correspondent à des situations aberrantes. Les 32 unités réellement reconnues, numérotées de A1, A2, A3, jusqu'à L1, L2, L3 (tableau 2), ont fait l'objet d'une analyse statistique qui fait ressortir pour la région et pour chaque sous-région :

- la superficie globale de chacune d'elle,
- le nombre d'unités du même type rencontré,
- la superficie moyenne, minimale et maximale de chaque unité,
- les écarts-types et coefficients de variation de chaque paramètre.

Le classement de ces différentes unités est ordonné par superficies décroissantes sur le tableau 3 et l'interprétation des données statistiques précédentes fait apparaître, parmi ces 32 unités, 11 unités globalement très peu étendues et très morcelées, avec des superficies cumulées inférieures à 100 km². Leur représentativité, ainsi que leur rôle dans le fonctionnement hydrique, est de ce fait excessivement réduit. A l'issue de ce premier tri, ce sont donc 21 unités physiques qui apparaissent les plus représentatives des paysages de la région. L'unité H2 (sols de profondeur moyenne sur matériaux hétérogènes différenciés sur versants à pentes fortes) est la plus largement représentée, en particulier dans la sous-région haute. C'est par contre l'unité G1 qui est dominante dans la sous-région intermédiaire (sols superficiels sur matériaux indurés : calcaires, basaltes et rhyolites ; sols différenciés sur versants à pentes fortes) (tableau 3).

TABLEAU 2

Présentation des unités physiques de paysage dans la RH 36.

MATERIAUX	SOLS	CLASSES DE PENTES en degrés			
		< 0,5	0,5 à 6,0	6,0 à 45	45 à 72
Indurés	Superficiels	A1	D1	G1	J1
	Moyens	A2	D2	G2	J2
	Profonds	A3	D3	G3	-
Hétérogènes	Superficiels	B1	E1	H1	-
	Moyens	B2	E2	H2	K2
	Profonds	B3	E3	H3	K3
Tendres	Superficiels	C1	-	I1	-
	Moyens	C2	F2	I2	L2
	Profonds	C3	F3	I3	L3

Dans la sous-région basse, ce sont naturellement les sols profonds, sur matériaux alluviaux colluviaux tendres et différenciés sur pentes faibles, qui sont les mieux représentés (unité F3).

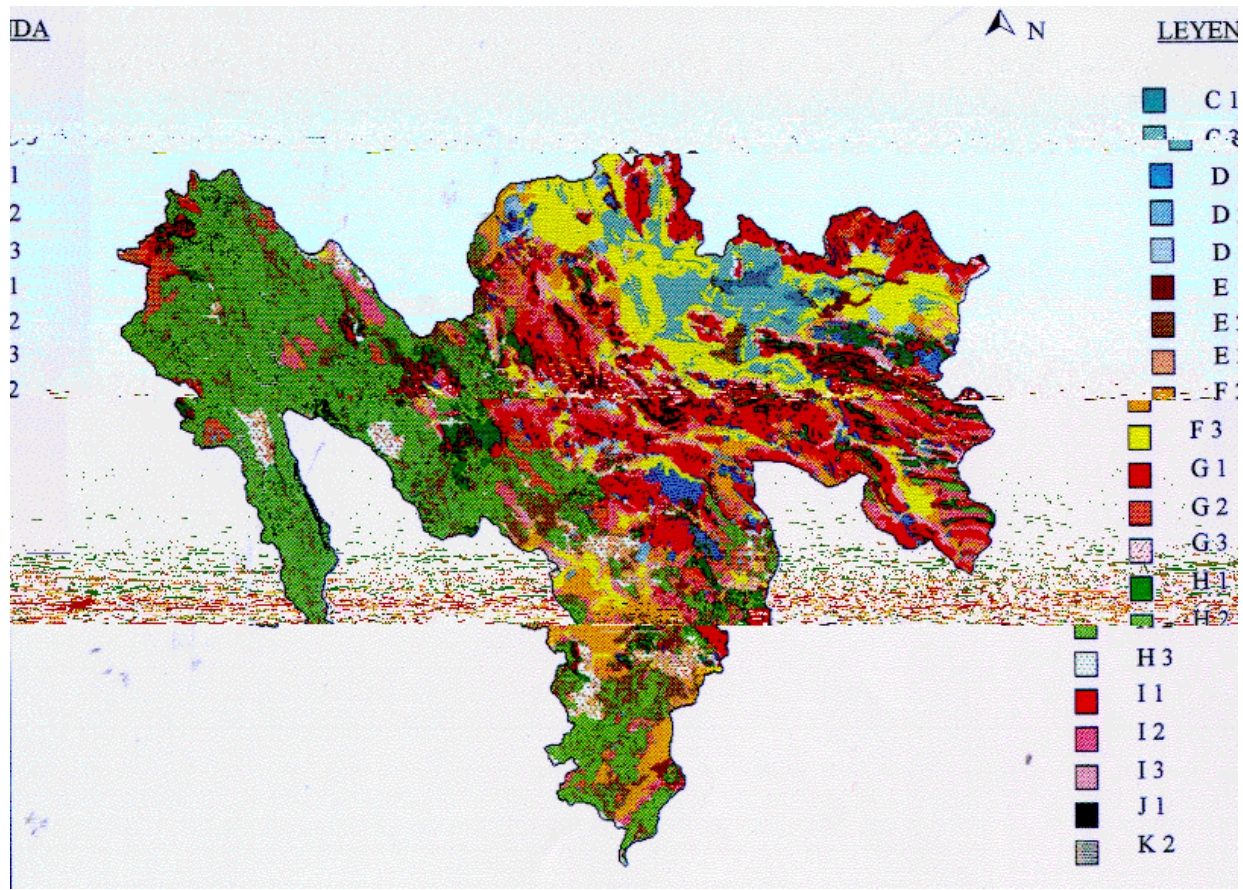
Ces 21 ensembles paysagiques, prenant en compte les trois critères du milieu physique jugés les plus déterminants, ont été tracés sur une carte générale à l'échelle d'environ 1/3 000 000 qui fait apparaître les grands traits de leur distribution spatiale au sein de la RH 36 (figure 6).

INTÉGRATION DE LA VÉGÉTATION AU SIG

Le croisement des 10 classes d'occupation du sol avec les 21 unités physiques précédemment répertoriées comptabilise 210 possibilités théoriques d'ensembles paysagiques. L'analyse statistique des résultats de ce croisement conduit en premier lieu à éliminer les unités biophysiques non représentées dans la région et ensuite à ne pas prendre en considération celles dont la superficie totale cumulée est inférieure à la centaine de km². Ce tri aboutit, pour l'ensemble des 21 unités physiques recensées, à 84 sous-unités biophysiques, ce qui correspond, selon les cas, à des sous-unités végétales distinctes (de 1 à 7) pour chaque ensemble de paysages.

Le tableau 1 montre également qu'en un même lieu la végétation peut évoluer soit dans le sens d'une dégradation, pour environ 35 % de la superficie de la zone de 9 500 km² couverte par les deux images Landsat des années 1972 et 1992, soit dans le sens d'une régénération du couvert végétal pour 22 % de cette même superficie. Ces changements sont dus d'une part à l'intense activité forestière dans les parties les plus hautes de la Sierra Madre occidentale (au-dessus de 2 600 mètres), d'autre part au surpâturage qui s'est généralisé de manière draconienne dans certains secteurs qui supportent des charges de deux à cinq fois supérieures à la charge normale de bétail à l'hectare. La régénération du couvert végétal peut être une conséquence du surpâturage, cette régénération se faisant au profit d'espèces non appréciées par le bétail (le pin) et au détriment des espèces les plus consommées (le chêne). Au total, 12 % de la superficie des 9 500 km² se sont dégradés entre 1972 et 1992 et la superficie couverte par la forêt dense a été divisée par deux.

FIGURE 6
Principales unités de paysage dans la RH 36.



TABEAU 3
Superficies des unités de paysage par sous-région.

RH 36		Sous-région haute		Sous-région moyenne		Sous-région basse	
Unités	km ²	Unités	km ²	Unités	km ²	Unités	km ²
H2	22 984	H2	19 197	G1	6 234	F3	7 882
G1	12 046	E2	3 657	H2	3 475	G1	4 990
F3	9 721	H1	1 509	I2	2 728	C3	3 727
E2	5 819	H3	1 197	F2	2 564	F2	1 678
I2	5 093	G2	997	H1	2 210	D1	1 600
F2	4 786	I2	952	F3	1 722	I2	1 413
H1	4 647	G1	823	E2	1 612	I3	1 236
C3	3 743	F2	544	G2	1 612	I1	1 137
G2	3 357	K2	416	I1	1 480	H1	927
D1	3 075	E3	410	D1	1 378	G2	747
I1	2 698	J1	400	H3	1 073	D3	623
I3	2 431	I3	172	I3	1 022	E1	559
H3	2 392	E1	121	J1	917	E2	550
J1	1 597	F3	117	E3	786	C1	518
E3	1 468	D2	117	E1	570	D2	410
E1	1 250	D1	96	D2	421	G3	394
D3	970	I1	81	G3	369	H2	311
D2	948	B2	35	D3	344	J1	280
G3	782	A1	20	J2	42	E3	272
C1	522	G3	18	L2	26	H3	122
K2	439	C2	17	K2	23	A3	91
A3	104	K3	13	C3	16	A1	43
A1	73	J2	7	C2	14	C2	16
J2	52	L2	6	A3	13	L3	16
C2	47	B1	4	A1	10	L2	8
B2	43	D3	3	L3	10	K3	7
L2	39	B3	3	K3	8	B3	6
K3	28	A2	1	B2	8	J2	3
L3	26	C3	1	B1	4	B1	3
B3	11	L3	1	C1	4	A2	2
B1	11	C1	0	B3	2	B2	1
A2	4	A3	0	A2	1	K2	0
Total	91 204		30 937		30 696		29 571

CONCLUSION

Au plan des caractéristiques physiques (pentes, lithologies, sols), et en première approche, on peut préjuger que parmi les 21 unités de paysage identifiées, celles qui sont différenciées sur les pentes très faibles (inférieures à 0,5 degré), exclusivement représentées dans la sous-région basse, n'ont pas de rôle fonctionnel vis-à-vis des ruissellements en dehors des événements pluviométriques exceptionnels. Il s'agit des unités C1 (sols superficiels sur matériaux sableux) et C3 (sols profonds sur matériaux tendres).

Au plan biotique, l'analyse de l'occupation de ces unités paysagiques fait apparaître:

- d'une part que la classe "*sans végétation*" n'est représentée que dans la sous-région basse, (unité F3) et appartient aux paysages de lagunes non concernés par les flux hydriques;
- d'autre part que la classe "*matorral subinermé*" est très peu représentée et peu différente du groupement "*matorral desertico microfilo*" auquel elle peut être associée.

Ceci ramène donc à huit les groupements végétaux à prendre réellement en compte.

Au total, du point de vue des ensembles paysagiques hydrologiquement fonctionnels, ce sont donc 19 ensembles géomorphopédologiques différents qui ont été retenus comme représentatifs de la RH 36 dont ils constituent 95 % de la superficie, et 84 sous-ensembles biophysiques susceptibles de présenter un comportement hydrique particulier en raison de leur occupation végétale.

La principale difficulté dans cette approche typologique est la prise en compte des liaisons existant entre ces différents ensembles, liaisons qui vont régler leur fonctionnement hydrologique. Ces ensembles peuvent en effet se présenter soit sous la forme d'une hydroséquence continue avec un ordonnancement amont-aval (corniche, versant, piémont, glacier, vallée), soit sous la forme d'un ensemble discontinu dont les éléments fonctionnent séparément du fait de la présence de plusieurs reliefs de commandement. Ce système discontinu crée alors de nombreux emboîtements latéraux d'interfluves avec des zones d'écoulement préférentiel.

Dans la réalité, ces ensembles paysagiques forment des combinaisons complexes, plus ou moins ordonnées, faisant intervenir de nombreux facteurs déterminant le ruissellement. Ces facteurs sont parfois évolutifs et ils doivent être appréhendés à des échelles d'espace et de temps compatibles, permettant de rendre compte du fonctionnement de ces hydrosystèmes. La végétation constitue un de ces facteurs évolutifs qui doit être appréhendé en tenant compte de ses dynamiques saisonnière et interannuelle.

BIBLIOGRAPHIE

- Barral, H. et Anaya, E.** 1995. *Evolucion de los pastizales en la RH 36*. Rapport ORSTOM, Gomez Palacio, 60 pp.
- Brabant, P.** 1992. Pédologie et système d'information géographique. Comment introduire les cartes de sols et les autres données sur le sol dans les SIG. *Cah. ORSTOM sér. Pédol. vol XXVII n° 2, 1992*, pp 315-346.
- CENID RASPA et ORSTOM** 1993. *Estudio de los factores que influncian los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36* ; Loyer JY., Estrada JA., Rasso R. et Moreno LD. éditeurs. Inifap, Orstom, Mexico 1993, 367 p.
- Collet, Y.** 1992. *Systèmes d'informations géographiques en mode image*. Presses Polytechniques et universitaires romandes. EPFL, Ecublens. Lausanne, Suisse, 186 p.
- Chrétien, J., King, D., Hardy, R. et Meunier, D.** 1993. Essai de modélisation de l'organisation spatiale des sols d'une région. Application aux plateaux calcaires bourguignons. *Science du Sol 1993. Vol.31*, pp. 171-191.
- Descroix, L. et Motiaud, S.** 1995. *Evolucion de la cobertura vegetal en la Sierra Madre Occidental (Norte de Mexico), de 1972 a 1992*. Congrès de la SELPER (Sociedad des Expertos Latinoamericanos de Percepcion Remota), Puerto Vallarta, Mexique, 5-10 nov. 1995.
- FAO - UNESCO** 1976. Mapa mundial de suelos 1:5.000,000. *Volumen I, Leyenda. Volumen III, Mexico y America Central*. Unesco, Paris 1976.
- INRA** 1991. Gestion de l'espace rural et système d'information géographique. *Florac*, France, 1991, 421 p.
- Jamagne, M., King, D., Girard, M.C. et Hardy, R.** 1993. Quelques conceptions actuelles sur l'analyse spatiale en pédologie. *Sc. du Sol 1993. Vol.31*, pp. 141-170.

Northcote, K.H. 1984. Soil-landscapes, taxonomic units and soil profiles. A personal perspective on some unresolved problems of soil survey. *Soil Survey and Land Evaluation*, 4, 1, 1-7.

Viramontes, D. 1995. *Estudio de la vegetacion y de las pequenas cuencas de la sierra Madre Occidental*. Rapport ORSTOM, Gomez Palacio, 50 p.