INTRODUCTION À LA KARSTOTAXONOMIE

Première partie

LES PRÉMISSES DE LA TAXONOMIE ET LA DIVERSITÉ DU KARST

CRISTIAN GORAN

L'actuel niveau de connaissance du karst impose la revue des critères d'ordre et de contrôle des éléments de système morphodynamique. La taxonomie et ses rigueurs représentent un moyen d'adapter et de respecter des critères universels dans la classification du karst. Pour assoir le sujet, sont mis en discussion quelques principes méthodologiques, la définition du karst, les catégories des différences spécifiques du système morphodynamique karstique et les trois aspects de la diversité du karst—élémentaire, individuelle et planétaire.

Dans le grec ancien taxis signifie ordre, organisation. Le mot a été repris dans la composition de quelques termes—concernant l'ordre, la disposition, la classification, la répartition etc. — par l'utilisation des préfixes taxo- ou taxi- et du suffixe -taxie.

La taxologie est la discipline qui s'occupe avec l'étude des classifications et la taxonomie avec l'établissement des principes et des lois de classification. La taxonomie est plus connue aujourd'hui en tant que branche de la biologie, mais le terme s'utilise fréquemment aussi dans d'autres domaines scientifiques.

Il y a eu, au XIX^{e} siècle, des tentatives ratées d'application dans la géographie de certains principes et lois de classification inspirées de la biologie. Nous ne sommes point les adeptes de telles «imitations», dans la classification karstologique, mais nous ne pouvons guère ne pas regarder avec intérêt et admiration l'ordre général existant dans d'autres sciences, parmi lesquelles la chimie, la cristallographie et la biologie sont les principaux exemples.

L'essai d'esquisser les lignes générales d'une taxonomie du karst ne représente pas seulement afin en soi mais aussi une modalité utilisée par l'auteur dans le but de dépasser une impasse dans la compréhension, l'entendement et la systématisation de cet univers. On propose un cadre formel, logique et méthodologique de réflexion dans le domaine de la connaissance du karst d'un ordre le plus proche possible de l'ordre de la nature.

I. LA NÉCESSITÉ D'UN ORDRE GÉNÉRAL EN KARSTOLOGIE

La pluridisciplinarité des recherches karstologiques a mené, inévitablement et naturellement, à la prise en considération et à l'utilisation par chaque karstodiscipline de certains éléments typiques et de certaines catégories spécifiques différentes ou à l'adoption de quelques critères d'ar-

Trav. Inst. Spéol. «Émile Racovitza», t. XXXII, p. 183—213, Bucarest, 1993

rangement propres. De là les nombreux points de vue, parfois divergents, sur la définition, l'identification, la classification et la délimitation du karst.

La diversité du karst est perçue aussi bien comme une somme de processus et de formes naturelles spécifiques que comme une réalité géographique, avec des limites plus ou moins précises. La majorité des dictionnaires et des lexiques mettent en évidence un double sens du terme de karst : celui de phénomène naturel et celui de région géographique. Et à partir d'ici, résulte une difficulté majeure dans la réalisation d'une systématique du karst, le phénomène supposant la mise en évidence de la causalité et la région la mise en évidence du contenu et des interdépendances. Nous considérons la causalité, le critère principal de définition du karst, et le contenu, le critère principal de la classification de celui-ci.

De manière paradoxale, d'autant la pluridisciplinarité des préoccupations karstologiques ou spéléologiques devient plus vaste, d'autant l'objet de la recherche devient plus vague. C'est probablement, une étape indispensable dans la connaissance, mais en égale mesure, un manque anachronique dans la méthode.

Les études de karstologie supposent en permanence de nouvelles classifications, mais souvent elles reflètent l'horizon limité des régions parcourues par l'auteur ou bien la préférence de celui-ci pour un aspect ou un autre du karst—géomorphologie, hydrogéologie, sédimentologie, géodynamique etc. L'abondance, la variété de l'information ou les différents degrés de détail des analyses karstologiques, rendent de plus en plus difficile la création et l'utilisation de schémas simples, généralisables, sans l'adoption de quelques critères taxologiques. Une telle approche du karst suppose une acceptation et une participation très large, par des programmes de longue durée.

Dans la morphologie du karst, par exemple, l'élaboration d'une méthodologie, scientifiquement fondée, en vue d'établir quelques types représentatifs (morphotypes), au cadre des différents groupes ou associations de formes (association-type), va permettre d'établir des synonymes pour les formes pareilles et la mise en évidence des nouvelles formes. La karstotaxonomie pourrait résoudre aussi, autre deux aspects critiques majeurs de la karstologie : (1) le remplacement du cadre pluridisciplinaire et conjoncturel — lieu et but commun — avec un cadre interdisciplinaire, logique et méthodique, scientifiquement fondé ; (2) le dépassement d'un plafond déterminé par la singularité de la karstologie régionale, par une karstologie comparée et une plus correcte résolution des problèmes de l'évolution du karst.

La systématique est une discipline supra-scientifique qui s'occupe avec l'étude de la diversité des éléments d'un système et de toutes les relations existantes entre eux ; elle inclut l'identification des éléments, la classification et l'évolution de ceux-ci.

La taxonomie est une part de la systématique qui s'occupe avec l'étude théorique de la classification du système ; elle inclut les bases, les principes, les procédures et les normes de classification.

Notre avis c'est que, jusqu'au moment présent, il y'a a aucune systématique unitaire du karst, bien que ses abords systémiques soient nombreux et intéressants. Les raisons, d'ordre théorique fondamental,

ont un caractère historique. Le spécifique du karst est disputé en permanence entre les diverses disciplines scientifiques polarisées par celui-ci et parfois, réduit ou confondu à des éléments ou avec des aspects propres aux disciplines respectives. Le karst est aujourd'hui plutôt inventorié, décrit et analysé que systématisé dans son ensemble.

Concernant les prémisses actuelles d'une systématique du karst on peut souligner les impedimenta suivants, d'ordre conceptuel ou méthodologique :

— il existe une permanente confusion entre la systématique des facteurs, celle des processes et celles des formes qui déterminent, définissent ou sont induits ou sous-duits par le karst ;

— le manque de préoccupations taxonomiques proprement dites ; se reflète, tant dans le caractère partiel ou contradictoire des systématisations, que dans le choix des critères de classification et le manque de critères et de méthodes de définition, respectivement d'identification des éléments caractéristiques ;

— le manque de méthodes de définition, respectivement d'identification des éléments caractéristiques ;

— le manque de critères de différenciation, dans le cadre des éléments-types, des divers stades de développement ;

— le manque de méthode de délimitation des éléments spécifiques au karst de ceux non-spécifiques ou de transition ;

— la nomenclature karstique traditionnelle est suggestive mais, étant provenue dans sa plus grande partie des archétypes toponymiques, elle reste insuffisante et difficilement utilisable dans des classifications ou des divisions.

Par la présente «Introduction à la karstotaxonomie», on remet en discussion la définition du karst et les principes méthodologiques de classification, en proposant en même temps un schéma général de hiérarchisation de ses formes, constitué par une taxonomie des configurations spatiales du karst.

II. PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES DES OPÉRATIONS D'ORDRE, DÉTERMINATION, GÉNÉRALISATION, DIVISION ET CLASSIFICATION

En constatant le fait que certains principes méthodologiques élémentaires, faute desquels on ne pourrait concevoir une approche karstologique systématique, sont parfois ignorés, nous permettons de rappeler les définitions et les règles des principales opérations logiques.

A. L'ORDRE

C'est l'opération de disposition des éléments d'un système dans un schéma de relations. **Les relations d'ordre**, dépendent du mécanisme de fonctionnement des interactions du système et des rapports de détermination qui gouvernent la genèse, la structure et la dynamique de celui-ci.

B. LA DÉTERMINATION

C'est l'opération logique par laquelle on passe des notions générales aux notions ayant une sphère plus restreinte et un contenu plus riche. Elle se réalise par l'addition de déterminants à la notion générale. **La limite de la détermination** est l'espèce infime ou la notion individuelle. **La détermination réelle** est le processus de réalisation des limites, des dimensions spatio-temporelles.

C. LA GÉNÉRALISATION

C'est l'opération logique par laquelle on passe de notions à sphère plus restreinte et à riche contenu à des notions à contenu plus pauvre. **La limite de la généralisation** est la catégorie.

D. LA DIVISION

C'est l'opération logique de partage du genre dans ses espèces (opération inverse à la classification). **La structure de la division** comprend : le genre (la notion à diviser), le critère de la division et les membres (les espèces obtenues).

Les règles de la division sont :

— le critère doit être unique et essentiel ;
— les membres de la division doivent s'exclure entre eux ;
— les membres de la division doivent libérer la sphère de la notion à diviser ;
— dans la division on ne doit pas faire des sauts (ne pas accepter de sous- et supra-espèces).

La limite de la division est l'espèce infime.

E. LA CLASSIFICATION

C'est l'opération logique de systématisation d'un ensemble de notions par le groupement des éléments, sur la base de leurs caractéristiques communes, en classes d'éléments, pour que chaque classe, ainsi établie, occupe une place précise et stable. **La structure de la classification** comprend : les éléments à classifier (l'univers de discours), le critère (le fondement) de la classification et les classes résultées. **Les règles de la classification** sont :

— chaque élément de l'univers de discours doit être réparti dans une classe ;
— les classes doivent s'exclure réciproquement ;
— sur chaque degré de classification, le fondement doit être unique (les ressemblances d'entre les éléments sont plus importantes que les dissemblances).

La classification systématique est l'organisation d'une multitude de notions dans une hiérarchie et le résultat de celle-ci est un système de notions.

Nous considérons que toutes ces opérations logiques et leurs règles doivent se retrouver dans la systématique du karst.

III. LES PRÉMISSES DE LA SYSTÉMATIQUE DU KARST

L'ordre dans le karst suppose une détermination réelle et préalable des caractéristiques, des éléments et des structures propres (spécifiques), de celles des facteurs et des processus qui l'ont généré, d'un côté et de celles des éléments et des formes induites, qui l'hybrident ou le parasitent, d'un autre côté.

A. LA DÉFINITION — LA PRÉMISSE PRIMORDIALE

A la notion de karst on attribue des sphères et des contenus divers, ce qui mène à l'ambiguïté de la définition et des critères de délimitation ou de classification.

Le karst a été défini, initialement, comme une catégorie géographique, plus précisément comme une catégorie de relief spécifique et déterminant pour le reste des composants du milieu physico-géographique (eau, air, sol et vie) qui, à leur tour, ont des éléments spécifiques aux aires karstiques. J. Cvijič a établi les relations d'ordre dans le karst au niveau ou autour du relief. Les caractéristiques attribuées au relief karstique — considéré une entité dans le milieu géographique — le différencient nettement d'autres catégories géographiques ou types de relief. Les recherches de l'époque respective sont surtout descriptives, en ce qui concerne la structure et surtout déductives, en ce qui concerne la genèse et la dynamique. La mise en évidence de karst était faite à l'échelle de grandes régions, à caractéristiques unitaires (le karst classique) où les délimitations karst — non-karst étaient catégoriques, et la classification des formes se réduisait aux éléments évidents et frappants.

L'image moderne sur le karst est beaucoup complétée et nuancée. L'hydrogéologie, l'hydrochimie, la sédimentologie ou la microbiologie ont tracé le contour du fonctionnement du karst, en excluant ainsi une grande partie des interprétations déductives sur sa genèse ou sur sa dynamique. Les relations d'ordre sont quantifiables et reconsidérées, du niveau des interdépendances d'une catégorie de relief, à la structure complexe et aux feed-backs d'un système naturel ouvert. La structure du système karstique est constituée sur les relations entre ses éléments, distinctement de celle de la catégorie de relief, suffisamment exprimée par le contenu. Mais la limite karst — non-karst est devenue, conceptuellement et méthodologiquement, plus délicate à établir : on a découvert des structures karstiques complexes pour lesquelles il est difficile à expliquer une genèse spécifique, ou ont été identifiées (par l'agrandissement de l'échelle d'analyse) des microstructures karstiques sur des formes non-specifiques ou dans des systèmes naturels considérés comme non-karstiques, dans leur ensemble. La définition et la délimitation du karst, dans la situation de la mise en évidence unilatérale ou partielle du phénomène ou des formes, exigent certaines précisions sur le système morphodynamique karstique.

a. Le karst—résultante morphodynamique

On considère le karst le résultat d'une connexion universelle du genre de la chaîne : objet — cause — effet. La connexion est non-linéaire et non-univoque, mais on va discuter cette chaîne en commençant avec sa forme simplifiée — le cycle initial.

L'objet virtuellement générateur de l'effet est multiple — la roche et les agents modeleurs. Il a sa propre configuration matérielle, qualitative ou fonctionnelle.

La cause génératrice de l'effet est l'interaction des objets, dans des conditions bien déterminées, à un flux d'énergie par système — le processus modeleur spécifique. L'interaction spécifique est le modelage karstique avec sa forme la plus caractéristique — la karstification.

L'effet du modelage karstique est la modification matérielle et qualitative de l'objet par un transfert spécifique de matière dans le cadre et/ou en dehors du système. La constitution de l'effet a une configuration matérielle spécifique — la forme.

A la reprise du cycle, la configuration matérielle de l'effet initial devient une configuration fonctionnelle et une partie de la matrice génético-structurale de la dynamique du système (un nouvel objet). Le nouvel effet se constitue — après l'interaction des nouvels objets — par un développement spatial spécifique, dans une nouvelle forme et une nouvelle fonctionnalité.

La configuration spécifique résultée se rapporte, en égale mesure, au contenu solide, liquide et gazeux du système. Les deux coordonées de l'effet se subordonnent réciproquement : celle matérielle détermine le fonctionnement du système et celle fonctionnelle détermine l'unité (l'intégration des formes) et la dynamique du système.

L'effet diffère autant de l'objet que de la cause, mais il garde les traits qualitatifs de celles-ci, la configuration du karst étant une résultante morphodynamique entre la structure de la roche et la structure des agents modeleurs. Tout processus modeleur, sélectionné causalemment par le fonctionnement de tout système morphodynamique, a la tendance de médier les caractères des éléments se trouvant en interaction et le karst ne peut faire exception à cet égard.

On considère comme karst—l'effet du système naturel où l'interaction entre la roche et les agents modeleurs, déterminée par un flux d'énergie, a pour résultat un transfert de matière, intégré du point de vue spatio-fonctionnel par une connexion entre la surface et la profondeur de la roche, concrétisée par une configiration et un développement spatial spécifiques.

Dans le système morphodynamique karstique on met en évidence les relations d'ordre suivantes :

— pour la genèse du système, la cause est la naissance des interactions spécifiques — le modelage karstique (voir Goran, 1988) — et l'effet est la configuration spatiale spécifique résultée ;

— pour la structure du système, la cause est la fonctionnalité de ses formes et l'effet est le fonctionnement spécifique ;

— pour la dynamique du système, la cause est imposée par la réponse spécifique du système (conditionné génétiquement et structuré du point

de vue fonctionnel) au flux d'énergie et l'effet est le développement spatial spécifique.

Il set à remarquer qu'on limite le karst à l'effet du système morphodynamique, effet constitué dans la configuration et le développement spatio-fonctionnel résulté.

b. **Spécifique et non-spécifique dans le karst**

Les déterminantes du système morphodynamique karstique sont : les interactions (la genèse du système), la forme (la structure du système) et le flux (la dynamique du système). Pour le karst, le spécifique génétique est donné par l'accomplissement du processus de dissolution (tant superficiel que souterrain), celui structurel par l'existence des formes négatives et souterraines, trouvées en connexion spatiale et celui fonctionnel par la surimposition et la concentration du drainage souterrain (l'autorégulation).

Le caractère karstique d'un système morphodynamique est donné par le poids statistique des déterminantes spécifiques énumérées étant donné que, dans le milieu naturel, le système existe et fonctionne, d'habitude, associé ou dissocié (spatialement ou fonctionnellement) à d'autres configurations non-spécifiques. L'identification du système dépend, tout d'abord, de l'échelle d'analyse et de la possibilité d'investigation de ses déterminantes spécifiques.

L'analyse causale nous permet une délimitation spécifique entre les causes et les effets, concernant la terminologie.

Le karst est un espace concret et cohérent, intégré à la géosphère, déterminé par le spécifique et l'unité de sa genèse, de sa structure et de sa dynamique. Il se constitue du point de vue matériel et régional par une configuration spatiale propre, qu'on appelle milieu karstique.

Le milieu karstique est l'interface complexe de la géophère résultée à la suite de la genèse et de la dynamique du karst. Sa structure contient, sous les trois états matériels où existe et fonctionne le système karstique (solide, liquide et gazeux), les domaines effectifs du karst :

— le domaine géomorphologique — les reliefs karstiques, respectivement les morphostructures karstiques (excavées ou accumulées ; actuelles ou fossilisées) ;

— le domaine hydrologique (hydrographique et hydrogéologique) — les hydrostructures karstiques ;

— le domaine climatique — les structures climatiques karstiques.

Du point de vue de la variabilité et de l'unité spatiale, au domaine géomorphologique sont subordonnées, implicitement et fonctionnellement, toutes les autres structures karstiques ou juxtaposées au karst.

Le milieu karstique est, aussi, un support matériel pour les structures d'autres systèmes naturels qui deviennent, effectivement, contingentement ou incidemment, des domaines du karst par leur participation à la genèse ou à la dynamique ce celui-ci. Ce sont :

— les biostructures ;

— les pédostructures ;

— les anthropostructures (les structures sociales et économiques).

La configuration fonctionnelle du karst est une qualité de l'effet et non pas un élément qui lui appartienne ; elle ne doit pas être confondue avec

le fonctionnement du système karstique qu'elle détermine, en même temps qu'avec les entrées et les sorties du système.

Le phénomène karstique — l'un des deux aspects sous le squels on a défini le karst classique (phénomène et région) — est une cause génétique et non pas un élément de l'effet du système (du karst) ; il est synonyme au modelage karstique, au sens causal ou avec le fonctionnement du karst, au sens systémique.

Le processus de karstification est le processus génétique déterminant et dominant du système morphodynamique karstique.

c. Le karst : association, analogie ou ensemble d'éléments ?

L'abord systématique du milieu karstique suppose des précisions supplémentaires sur la capacité de référence de la notion de karst.

J. Cvijič a défini le karst, dans des unités géographiques clairement déterminées, par la mise en évidence d'un processus génétique dominant — «Das Karstphänomen» — et de certaines associations fonctionnelles entre ses formes inédites et spécialisées. **L'association** suppose un ordre strict des relations fonctionnelles. Etant donné que le critère relationnel diffère d'une discipline karstologique à une autre, l'ordre reste partiel, ne pouvant être comprises dans une classification toutes les relations fonctionnelles existantes dans le karst. Par exemple, une classification hydrogéologique du karst diffère d'une autre morphologique.

Il y a des situations dans lesquelles on définit ou on classifie un karst par analogie avec un autre. **L'analogie** suppose une identification et une généralisation de certaines structures ou éléments spécifiques — analogues à celles connues ou nouvelles — mais aussi une possible ignorance des configurations non-caractéristiques — adjacentes ou englobées au karst — ce qui détermine une limitation (spatiale ou causale) du système karstique. La différenciation, très expressive et didactique, dans l'orthokarst, le parakarst et le pseudokarst (E. Silvestru, 1991) représente une telle analogie, a priori limitative.

Nous considérons tout karst comme un ensemble spatial et fonctionnel (unitaire ou non). **L'ensemble** suppose tout d'abord, une division (pas une classification) systématique complexe et complète et ensuite une délimitation du reste des systèmes morphogénétiques. Les éléments de l'ensemble sont spécialisés et de manière différenciée, intégrés à la structure du système karstique par leur connexion spatiale et relationnelle. Une fois identifiés, les éléments de l'ensemble se prêtent à « n » analogies possibles et en fonctions des entrées et des sorties du système, entre eux s'installent « n » relations fonctionnelles. Les analogies et les relations peuvent être particularisées et étudiées correctement seulement dans le contexte de l'ensemble.

La notion de karst est une notion collective, « un genre suprême », aussi bien de la totalité des systèmes spatiaux, individualisés, résultés par un modelage/fonctionnement principalement karstique — l'univers karstique — que de la totalité des éléments spécifiques existants dans chaque système karstique — l'ensemble karstique.

B. LA DÉLIMITATION-CONDITION DE LA DÉTERMINATION RÉELLE

La systématisation théorique générale du karst doit mettre en évidence les caractéristiques, le contenu et la structure de tout ensemble karstique, mais aussi la délimitation de celui-ci par rapport d'autres systèmes morphodynamiques.

a. Le contenu du milieu et de l'ensemble spatial karstique

Dans le périmètre d'un système morphodynamique karstique, matérialisé par le milieu karstique, s'entrepénètrent logiquement ou accidentellement trois catégories de caractéristiques, éléments et structures :

— des catégories suprakarstiques ;
— des catégories équikarstiques ;
— des catégories intrakarstiques.

On ajoute à celles-ci une quatrième catégorie, celle périkarstique qui peut déterminer ou être déterminée par le karst. Elle s'intègre souvent au fonctionnement du système morphodynamique karstique, mais elle reste toujours en dehors du milieu karstique.

Sur la base des définitions antérieures, le milieu karstique est la seule catégorie équikarstique. C'est le lieu commun de la genèse et de l'évolution du karst. Rapportés au milieu karstique, les domaines de la géosphère (géomorphologique, hydrologique, climatique, pédologique et biologique) sont d'un côté des catégories suprakarstiques, de niveau universel et d'autre, des catégories intrakarstiques, par leurs structures, comprises effectivement dans le contenu et entre les limites du karst.

Le caractère supra- et intrakarstique des domaines de la géosphère se reflète dans la genèse et le contenu du milieu karstique par deux catégories de structures :

— les structures fondamentales qui contiennent les caractéristiques fondamentales du domaine, intégré et déterminé, dans son ensemble, par un niveau planétaire (zones climatiques), par un niveau continentale (structures sédimentaires, orogéniques etc.) ou par un niveau régional (structures montagneuses, de plate-forme, littorales etc.) ;

— les structures locales qui contiennent les caractéristiques de détail et les éléments de cette partie du domaine intégrés dans le milieu karstique (pétrographie, unités de relief, régime hydrique et climatique etc.).

Les structures fondamentales ne se subordonnent pas directement au fonctionnement du système karstique. Elles ont un caractère quasi-invariable et dominant, par rapport au karst — elles sont non-karstiques — et elles déterminent en permanence la structure générale du milieu karstique (des structures montagneuses, de plateau, littorales etc.). Les structures locales sont une partie du milieu karstique. Par les connexions inverses du fonctionnement du système, elles déterminent les causes et assument les effets du karst, en se modifiant et s'organisant en permanence en structures karstiques — structures spécialisées et spécifiques au karst. Il en résulte que, tout milieu karstique intègre, dans son contenu et entre ses limites, tant des structures karstiques, propres du système morphodynamique, que des structures non-karstiques, d'ordre régional ou général. La signification taxonomique et systématique de cette dichotomie est évidente.

Les structures locales se reflètent dans le contenu du milieu karstique par une mosaïque conjoncturelle de causes de d'éléments. Dans leur espace d'interférence, le flux d'énergie — variable permanente du système — est, aussi, non-homogènement distribué. Dans ces conditions de « lieu commun », caractérisé par la non-homogénéité et la variabilité, la genèse et l'évolution du karst se produisent de manière différenciée, par une sélection et une polarisation des interactions, qui se manifeste dans le cadre spatial et fonctionnel de certains systèmes karstiques individualisés.

L'individualisation des systèmes déterminent la division et l'organisation du milieu karstique dans des ensembles spatiaux et fonctionnels relativement unitaires.

La tendance générale du milieu karstique — subordonné en permanence à l'évolution des structures fondamentales — est de modifier les structures locales des domaines de la géosphère, en les transformant dans des structures karstiques, dans lesquelles s'organisent et se développent des ensembles spatiaux et fonctionels unitaires. Par une polarisation et un développement préférentiels, un ensemble unitaire réussit — dans des conditions de relative stabilité des structures fondamentales — à se substituer, temporairement, au milieu karstique (hétérogène), tout en organisant fonctionnellement l'entier espace de celui-ci.

En fonction de leur rapport causal avec le karst, les caractéristiques, les éléments et les structures suprakarstiques, équikarstiques, intrakarstiques et périkarstiques énoncés antérieurement se différencient dans :

— **les catégories déterminantes du karst ;** ce sont des catégories effectives sans lesquelles le karst n'existe pas ou ne fonctionne pas (la circulation souterraine de l'eau, par exemple) ; des catégories contingentes existantes dans le périmètre de l'ensemble, mais avec une participation limitée (dans l'espace ou dans le temps) au fonctionnement du système (une ligne de partage des eaux) ; des catégories occassionnelles ont une existence limitée dans le périmètre de l'ensemble et, implicitement, une participation accidentelle au fonctionnement du système (une période climatique, une couverture végétale, une couverture du sol et ses conséquences) ;

— **les catégories karstiques proprement-dites,** qui ne pourraient exister dans un ensemble spatial sans une genèse ou un fonctionnement karstique (un poljé) ;

— **les catégories non-karstiques mais déterminées par le karst,** qui ont une existence indépendante du karst, mais à caractères, formes et structures déterminées effectivement, de façon contingente ou accidentelle du karst (des espèces de plantes et d'animaux, par exemple) ;

— **les catégories indépendantes ou accidentelles,** étrangers au karst, périkarstiques ou accidentellement intrakarstiques.

La mise en évidence de ces rapports spatiaux et causals est aussi une prémisse nécessaire à l'élaboration d'une systématique du karst.

b. La délimitation de l'ensembe spatial karstique

Nous avons dénommé le karst — par l'intermédiaire du syntagme milieu karstique — une interface de la géosphère. Sa principale caractéristique et qui lui confère l'unité, c'est le développement spatial tridimensionnel, à l'intérieur et au détriment de la roche. Le karst est un corps-unitaire, dans son ensemble et hétérogène, dans le contenu — inclus dans la

roche (ou les roches) mère. Le milieu karstique est une forme d'équilibre dynamique, sa limite varie donc dans l'espace et dans le temps. Le caractère « médiat » du karst se reflète donc aussi dans le caractère dynamique de ses limites.

Au cas de certaines roches facilement karstifiables et de certaines structures évoluées, les limites du karst peuvent coïncider avec les limites de la roche. Celle-ci est l'exception, étant donné que les limites de l'espace karstique sont tranchantes seulement au cas où elles sont déterminées causalement par d'autre limites (la limite de la roche dans le domaine continental ; la limite des processus générateurs dans le domaine marin). Le karst se développe d'habitude sur la direction générale du flux d'énergie, progressif et dissimulé dans la roche. Sa limite, à l'intérieur de la roche, est théoriquement stochastique et pratiquement, à la limite de la détection. Dans l'exokarst, la détection dépend seulement de l'échelle d'analyse et l'établissement de la limite est déterminée qualitativement, par la présence des structures caractéristiques et quantitativement, par le poids et la fréquence des éléments karstiques proprement-dits dans le milieu naturel.

Le milieu karstique est le résultat du processus morphodynamique avec un développement, tridimensionnel, maximal, à l'intérieur de l'écorce terrestre, de tous les points de vue : profondeur, densité, volume, diversité, complexité, organisation etc. Il a une limite exogène — un périmètre ou une zone — et une limite endogène — une surface ou une couche délimitante.

C. LA DÉTERMINATION DE LA KARSTOTAXONOMIE

Dans le système morphodynamique karstique, la diversité des causes, processus et éléments appartient à trois catégories systématiques :

— la catégorie des facteurs morphodynamiques ;
— la catégorie des processus morphodynamiques ;
— la catégorie des formes karstiques.

Parmi celles-ci, la première catégorie — **les facteurs** — a une existence et une systématique indéterminée directement par le système morphodynamique karstique ; la seconde catégorie — **les processus modeleurs** — a une existence et une manifestation spécifiques au karst, mais sa systématique est établie dans des contestes scientifiques et spatiaux beaucoup plus amples que celui karstique. Les formes karstiques effectives — **la catégorie des éléments** — sont déterminées, en exclusivité, par le système morphodynamique karstique et dépendantes d'une systématique spécifique au karst. En plus la karstologie et la géospéléologie sont les seuls domaines scientifiques qui peuvent classifier les formes endokarstiques.

a. Le but de la systématique du karst

Le but de la systématique du karst est d'illustrer la diversité des éléments du milieu karstique et des relations existantes entre celles-ci, par l'intermédiaire des divisions, classifications et schémas évolutifs. Elle doit, aussi, comprendre la méthodologie d'identification-différenciation-délimitation des éléments existants dans l'univers karstique.

Le fondement théorique de la systématique et sa réalisation effective va répondre obligatoirement à des exigences liées au spécifique du karst :

— qu'elle soit en plein accord avec la genèse, la structure et la dynamique du système karstique et de ses sous-systèmes ;

— qu'elle reflète la configuration du milieu karstique et de ses structures effectives, contingentes ou occasionnelles ;

— qu'elle comprenne la diversité de l'univers karstique ;

— qu'elle différencie les causes par rapport aux effets, respectivement les phénomènes par rapport aux éléments ;

— qu'elle identifie les aspects karstiques spécifiques de ceux non-spécifiques ;

— qu'elle mette en évidence les aspects généraux de ceux particuliers.

Pour le respect et le rang de ces exigences il est nécessaire, comme point de départ, un schéma général conceptuel et méthodologique. L'élaboration de ce schéma théorique général peut se constituer dans une taxonomie du karst.

b. **Les bases de la karstotaxonomie**

La structure de base sur laquelle s'organise et se développe tout l'édifice du karst c'est le domaine morphologique. En partant d'une taxonomie des structures morphologiques, nous croyons qu'on pourra fonder une systématique du karst.

Nos arguments dans le choix de la configuration spatiale du relief comme base matérielle et critère fonctionnel pour la taxonomie du karst montrent que :

— elle reflète directement et de manière cumulative la genèse et l'évolution du système, en réalisant la connexion biunivoque entre les causes et les effets ;

— elle confère forme, dimension et position dans l'espace au milieu karstique ;

— elle représente un support, relativement stable pour les autres domaines ou structures (dont les configurations lui sont partiellement subordonnées) et un terme de comparaison pour la dynamique de ceux-ci ;

— elle contrôle et maintient, par sa fonctionnalité, la dynamique du système ;

— elle est l'unité systémique et informationnelle la plus complète et la plus durable.

IV. LA DIVERSITÉ DE L'UNIVERS KARSTIQUE

Le karst — considéré comme une notion collective des ensembles spatiaux unitaires et de tous les éléments contenus par ceux-ci — suppose **une diversité planétaire** de certaines entités spatiales dissimulées dans le cadre de la géosphère et une **diversité élémentaire** (de contenu) de chaque entité prise à part. Au premier cas, l'univers karstique est le genre suprême et les ensembles unitaires sont ses espèces et au second cas, l'ensemble est le genre suprême et les éléments sont ses espèces.

Les différences entre les deux catégories sont fondamentales, mais aussi complémentaires : la diversité planétaire existant entre les individus du même genre ; la diversité élémentaire existant entre les éléments du même individu. Donc, le troisième aspect de la diversité du karst et de tous les autres types de relief, fondamental pour la taxonomie est **la diversité individuelle** résultat des modalités différentes d'intégration et d'association de ses éléments dans le système, respectivement dans l'ensemble karstique. Ce dernier aspect de la diversité est une diversité d'intégration et d'association.

La diversité individuelle et planétaire sont des formes d'association et de reflet dans l'espace — continues, respectivement discontinues — de la diversité élémentaire karstique. Du point de vue méthodologique, la diversité individuelle se classifie dans une diversité universelle et se divise dans une diversité élémentaire.

Ces considérations théoriques, généralement valables, sont essentielles pour la systématique, étant donné que l'analyse de la diversité du karst ne peut se faire que par rapport à un critère ou à une unité de référence. « L'individu spatial » est, dans le cas du karst, l'ensemble unitaire.

A. LE CRITÈRE DE RÉFÉRENCE

Le seul dénominateur commun de la diversité et de la variabilité des aspects liés au karst — facteurs, agents, éléments caractéristiques — est l'espace concret d'existence et de développement de ce milieu. Dans son ensemble le milieu karstique est complexe (hétérogène) et compliqué par une triple détermination :

— la diversité du conditionnement génétique ;
— la diversité et la variabilité des structures internes ;
— la diversité et la variabilité des influences extérieures.

La cohérence du milieu karstique est donnée par la modalité commune de médiation des variables extérieures et par la hiérarchisation des structures internes, dans sa configuration spatiale et fonctionnelle.

Un système karstique unitaire, délimité théoriquement, doit être rapporté à un ensemble spatial unitaire (terme déjà énoncé). Il représente l'espace du milieu karstique délimité par le lieu géométrique de tous les points où les indentités élémentaires du milieu sont intégrées spatialement et fonctionnellement dans la structure d'un seul système karstique. L'ensemble représente l'unité individuelle du karst et le critère de référence entre la diversité universelle et celle élémentaire.

La définition de l'ensemble spatial karstique comporte quelques précisions :

— l'existence d'un système karstique, dans une configuration spatiale (l'ensemble), est déterminée par l'existence (dans l'espace respectif) des effets morphodynamiques spécifiques au fonctionnement du karst (des formes de surface et souterraines trouvées en connexion et générées par un modelage principalement karstique) ;

— un système karstique peut avoir, théoriquement, un développement de l'ordre des centimètres à celui des millions de kilomètres cubes et une dynamique dans le temps ;

— dans un milieu karstique unitaire il peut exister et fonctionner un ou plusieurs systèmes karstiques ;

— dans l'ensemble karstique les structures et les espaces périkarstiques, n'entrent pas même s'ils sont intégrés fonctionnellement au système karstique (un bassin fermé, par exemple);

— l'ensemble spatial karstique inclut dans son volume unitaire, à côté d'éléments à genèse, structure et dynamique karstique spécifiques, tout le complexe de facteurs, de processus et d'éléments morphodynamiques (roche, eau, relief, sol, végétation etc.), avec lesquels le système karstique interfère, par une intégration et une dépendance réciproques (le volume homogène de la roche, les lithoclases, surfaces de stratification, processus de désagrégation, d'altération, modelage fluviatile, modelage glaciaire etc.).

La diversité de la forme et du contenu des ensembles spatiaux karstiques est évidente. Elle doit être identifiée et ordonnée d'après des critères taxonomiques.

B. LA DIVERSITÉ ÉLÉMENTAIRE DU KARST

Parmi les nombreuses classifications existantes à propos du karst ou des réseaux souterrains, nous aimerions mentionner l'ouvrage de Ph. Renault (1958), « Eléments de spéléomorphologie karstique ». L'auteur reprenant les classifications quantitatives (Cailleux et Tricart, 1956) du relief, propose les suivantes catégories morphologiques et dimensionnelles dans le karst (fig. 1):

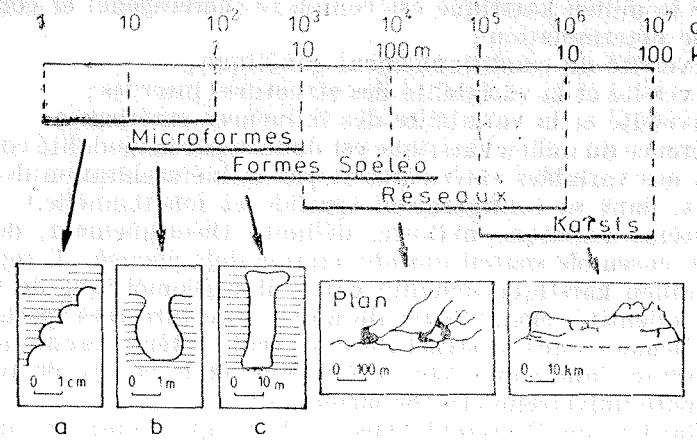

Fig. 1. Répartition dimensionnelle des formes spéléologique et karstique; a — cupules; b — marmite de géant; c — cañon souterrain (d'après Ph. RENAULT, 1958).

— les microformes (les formes de façonnement); subdivisées en microformes associées aux états de parois (0—10 cm. ou 0—100 cm.) et des microformes intervenant dans le façonnement des conduits (0—10 m.);

— les formes spéléologiques élémentaires — galeries, puits, salles (0—100 m.);

— les formes spéléologiques complexes et les formes karstiques; subdivisées en réseaux spéléologiques (associations de formes élémentaires)

et le karst (plaines, massifs tabulaires, chaînes à plis) qui comprend un ou plusieurs réseaux karstiques.

La classification met en évidence la diversité élémentaire du karst hiérarchisée dimensionnellement et intégrée, par des associations d'éléments, dans des ensembles spatiaux. Nous la considérons fondamentale, par sa simplicité et par sa logique, mais, en même temps aussi un point de départ pour une systématique du karst.

La configuration spatiale se constitue par les éléments de la forme, les paramètres dimensionnels et les coordonnées de la position dans l'espace. La diversité de la configuration suppose une diversité des éléments, des paramètres et des coordonnées ; la taxonomie suppose une méthodologie de rangement spatial et de hiérarchisation fonctionnelle de ceux-ci. Nous allons considérer les éléments, les paramètres et les coordonnées de la configuration spatiale comme les catégories élémentaires de la taxonomie du karst.

a. Les catégories géométriques élémentaires

La configuration spatiale du karst est une « architecture » de certains édifices complexes — karstosommes — constitués d'espaces pleins et vides (excavés dans la roche et remplis de dépôts, de l'eau ou de l'air). Dans leur constitution s'associent et se différencient les catégories géométriques élémentaires suivantes : formes, surfaces, alignements et noeuds. Ce sont les mêmes pour les formes externes (exogènes) et internes (endogènes) du karst.

Les formes élémentaires, nous les avons systématisées par l'intermédiaire de trois catégories de modules spatiaux (voir C. Goran, 1991 et 1992) :

— modules à prédominance unidirectionnelle ; formes ayant une direction et une dimension dominantes (une vallée, une crête, une galerie, une stalactite etc.) ;

— modules à prédominance bidirectionnelle ; formes à deux directions et dimensions dominantes (un plateau, une poljé, une kamenitza, un laminoir, un rideau etc.) ;

— modules relativement uniformes tridirectionnels ; formes sans une direction ou sans une dimension dominantes (un massif, une salle, un dôme stalagmitique etc.).

Les surfaces élémentaires sont les surfaces constitutives des formes élémentaires (la surface de la karstoplaine, une surface de terrasse, une surface de versant, une surface de diaclase, un plancher, la surface d'un spéléothème etc.).

Les alignements sont les lignes de jonction des surfaces élémentaires (ligne de crête, axe de vallée, contour de doline, arêtes des microformes de corrosion ou des spéléothèmes etc.).

Les nœuds sont les points de jonction des surfaces élémentaires et d'intersection des alignements (pic, perte, intersection de galeries, confluence, dôme de stalactite etc.).

Parmi les quatre catégories géométriques, nous considérons les surfaces comme la catégorie élémentaire de référence. Par leur intermédiaire on définit les autres catégories, à leur niveau on peut analyser la diversité

élémentaire et, en même temps, mettre en évidence l'association des éléments dans le karst.

b. **Les catégories de forme**

Ces catégories sont exprimes par la forme des surfaces élémentaires. Elle détermine directement la forme des modules spatiaux et des alignements. Les surfaces génératrices des édifices spatiaux peuvent être assimilées ou généralisées — sur des portions (entre des alignements) déterminées par l'échelle d'analyse — à des formes géométriques classiques :

— surfaces droites (plateaux, versants, diaclases, cristaux etc.) ;
— surfaces cylindriques (galeries, rigoles, stalactites fistuleuses etc.) ;
— surfaces coniques (hums, coupoles, stalactites etc.) ;
— surfaces sphériques (dolines, marmites, spéléothèmes etc.).

Les catégories de forme sont essentielles dans la détermination du spécifique des configurations spatiales dans le karst. La tendance générale du karst c'est le remplacement ou la réduction des surfaces planes, par des surfaces courbes et, implicitement, la réduction ou l'estompage des arêtes et des pics.

c. **Les catégories dimensionnelles-relatives**

Tout en complétant la classification de Ph. Renault, on systématise les éléments géométriques dans les catégories dimensionnelles-relatives suivantes :

— les mégaéléments ;
— les macroéléments ;
— les mésoéléments ;
— les microéléments ;
— les inframicroéléments ; sous-divisés en fanéro- et criptoéléments.

Les catégories dimensionnelles déterminant la hiérarchie des karstotaxons et partiellement, la fonctionnalité des éléments spatiaux karstiques. Une délimitation dimensionnelle, réelle, de ces catégories ne peut se faire que sur des bases statistiques.

d. **Les catégories positionnelles**

La position dans l'espace des formes, des surfaces et des alignements s'expriment différemment aux éléments droits et à ceux courbes :

— les éléments droits sont quasi-horizontaux, inclinés et quasi-verticaux ;

— les éléments courbes sont concaves et convexes — éléments positifs, respectivement éléments négatifs — en ayant eux aussi des positions relatives par rapport à l'axe horizontal ou à l'axe vertical.

Les catégories positionnelles déterminent, partiellement, le spécifique et la fonctionnalité des éléments spatiaux karstiques. La tendance générale du karst est la création de pentes et de contre-pentes, par le modelage ou l'activation de certains éléments inclinés ou verticaux, au détriment de ceux horizontaux et par l'accentuation du caractère convexe ou concave des éléments au détriment des surfaces droites.

Par l'intermédiaire des catégories élémentaires on peut analyser, décrire ou reconstituer, à toute échelle, les configurations et les développements spatiaux du karst.

C. LA DIVERSITÉ INDIVIDUELLE DU KARST

Le karst a un support matériel — la roche. Indifféremment au ment de la constitution du système morphodynamique karstique, le m lage spécifique s'intègre — par la sélection des causes et la constitu des effets — dans un espace à une forme et à une organisation préexis tes, en le modifiant. Le développement spatial du karst détermine association de nouvelles formes et de nouveaux contenus aux struct génératrices initiales (géologiques et hydrogéologiques). Il apparaît façon différenciée, entre les divers éléments et compartiments du m karstique, en étapes correspondantes aux seuils d'évolution et d'orga tion du système. L'intégration des nouvelles structures — les effet développement spatial — dans l'interface karstique, affecte différem ses éléments composants.

Il y a un niveau maximum de reflet et d'analyse de la dive individuelle du karst, l'unité karstique et un niveau minimum, la div minimum spécifique. Entre les deux limites, la discontinuité dans l'es et dans le temps du processus d'intégration et la hiérarchisation des st tures participantes à celui-ci, se reflète dans la cohérence et la conti du milieu karstique par des degrés et des modalités différentes d'ass tion spatiale des contenus, des formes et des fonctions.

a. Niveaux d'intégration spatiale

L'intégration spatiale du karst dans le milieu naturel repré « une implantation » de la géométrie des effets dans la géométrie des ses, respectivement de la configuration des éléments karstiques da configuration de la roche hôtesse et des agents modeleurs. C'est un cessus de transformation morphodynamique du milieu naturel, proc qui a pour conséquence qualitative la constitution du milieu karstiq l'organisation des ensembles unitaires et pour conséquence quantit l'association de nouveaux éléments spatiaux et la diversification du r L'expansion du karst est limitée à l'espace et à l'interférence des ca mais l'intégration des effets est illimitée à l'intérieur et pendant la d de l'existence de cet espace, respectivement de ces effets.

La configuration de l'interface karstique a une double déter tion :

— génétique, exprimée par sa forme externe, dépendantes de s tures fondamentales du milieu naturel et de la dimension des cause

— évolutive, exprimée par la forme et l'organisation interne, d dantes du niveau d'intégration des structures spécifiques dans l'e de celles non-spécifiques et du degré d'association et de hiérarchis des structures spécifiques, entre elles.

Il résulte que la diversité individuelle de l'interface karstique i autant les caractères généraux du milieu naturel — les structures f mentales et locales — constituées dans la composante génétique, q diversité évolutive, spécifique à chaque ensemble karstique unitaire

Un premier niveau d'intégration est celui de la constitution du m karstique (génétique) suivi de niveaux successifs d'organisation et de rarchisation de celui-ci. Une fois initié, le processus d'intégration pré un caractère évolutif nécessaire et normal, le karst étant en perma

l'élément intégré (dans l'espace des causes). Tout à fait par hasa lution suppose aussi une intégration — périodique ou accident certaines causes contingentes ou occasionnelles (et des structur pondantes à celles-ci), le karst devenant (périodiquement, respec accidentellement) l'élément intégrateur de certaines causes et el spécifiques.

Le niveau génétique de l'intégration a pour résultat une as par l'interpénétration, des structures non-spécifiques, initiales, a spécifiques et une constitution d'un nouveau milieu, celui kars niveau évolutif détermine une division de l'interface karstique, associations fonctionnelles, unitaires et une hiérarchisation de t structures ou éléments subordonnés.

Dans le cadre des structures spécifiques, l'intégration évolu double effet : dans l'espace et dans le contenu. **L'intégration de l espaces** est unitaire et se réalise par des chemins d'intégration — le formés de formes exo- et endokarstiques, trouvées en relation sion. Elle détermine, par un fonctionnement unitaire, l'individu et l'unité des ensembles unitaires, étant donné que, dans leur es surfaces exokarstiques sont dépendants des réseaux souterrains cents. **L'intégration de nouveaux contenus** a lieu au niveau des i de degré inférieur — dépendantes à exo- et à l'endokarst — en nant l'association, dans l'espace de ceux-ci, des formes karsti cavées ou accumulées.

Du point de vue fonctionnel, l'intégration détermine l'ass dans l'interface karstique, de formes et de contenus provenant d — causes et sources non-déterminées du point de vue ka — causes et sources déterminées par le développement sp karst.

Le premier groupe représente l'association — équikarstiqu karstique ou suprakarstique — de certaines causes ou de certaines cations dans la forme et dans le contenu des causes existantes et l groupe représente l'association et la dépendance, intrakarstique (karstique), de certains effets karstiques directs ou indirects.

L'intégration du système morphodynamique karstique a po tat une fragmentation sculpturale et une agrégation dépositionne ticulières au milieu naturel.

b. Les rapports entre les éléments de l'association

Pour mettre en évidence les associations, on différencie : u figuration spatiale de l'interface réceptrice (paléoconfiguration), u loppement spatial associé et une configuration spatiale résultant configuration). Il est à mentionner que, les paléoconfigurations égale mesure, des structures géologiques, hydrogéologiques ou m giques, non-karstiques ainsi que des structures karstiques.

Du point de vue de la diversité élémentaire, l'association spa une association de catégories élémentaires ; les rapports entre les participants sont des rapports dimensionnels, de complexité géom de forme et de position dans l'espace.

La compatibilité dimensionnelle est la condition essenti l'association. Les éléments associés sont, soit équivalents, soit dép

des éléments récepteurs (générateurs.) Quand le développement spatial de l'élément associé dépasse l'espace de l'interface génératrice, l'espace et la catégorie dimensionnelle de l'élément récepteur s'accroît, proportionnellement. Dans le karst, l'association spécifique est celle dépendante dimensionnellement (la fragmentation et la diversification du milieu), mais sont fréquentes aussi les associations équivalentes (par exemple, le colmatage d'une cavité endokarstique).

L'association spatiale est mise en évidence aux niveaux de complexité géométrique des éléments participants suivants :

— le niveau de la forme ;

— le niveau de la surface ;

— le niveau d'alignement ;

— le niveau du nœud.

Elle est d'ordre supérieur quand le niveau de complexité s'accroît, par rapport au niveau récepteur (le développement d'une forme dolinaire, sur une surface) et d'ordre inférieur, quand le niveau baisse (le nivelage d'une surface, dans une forme de relief). Les associations d'ordre supérieur sont spécifiquement karstiques et celles d'ordre inférieur sont déterminées par des processus morphodynamiques non-spécifiques, associés. Dans un plateau karstique, par exemple, la constitution et le nivelage de la surface du plateau — anté- ou postkarstique — est non-spécifique ; l'association spécifique dans cet type de plateau étant représentée par la diversification (ultérieure) de la surface nivelée par l'intégration au cadre de celle-ci, des formes karstiques négatives.

La forme et la position dans l'espace du développement spatial sont, par rapport à l'interface réceptrice :

— congruentes, respectivement conformes quand elles maintiennent, relativement, la géométrie de l'interface réceptrice ;

— incongruentes, respectivement contraires quand elles modifient la géométrie de l'interface réceptrice qui constitue l'association spécifique du modelage karstique.

Par rapport aux éléments générateurs les associations spécifiquement karstiques se déduisent subordonnées dimensionnellement, accentuent la complexité individuelle du relief et elles sont incongruentes, respectivement contraires, du point de vue de la forme et de la direction de développement (fig. 2). Les rapports respectifs se rencontrent aussi dans tous les autres types de relief, mais le modelage karstique est le seul processus où ces rapports d'association se maintiennent à partir de l'échelle des mégaéléments jusqu'à celle des inframicroéléments. Les quatre caractéristiques déterminent une hiérarchisation stricte dans le cadre des édifices karstiques et une spécialisation des éléments spatiaux composants.

c. Division et association spécifiques

Du point de vue des catégories géométriques qui composent une configuration spatiale, l'intégration a lieu au niveau de la forme, de la surface, de l'alignement ou du nœud. La constitution du karst suppose l'intégration, dans le milieu naturel, de certains effets à contenus et à fonctions spécifiques. La seule catégorie géométrique qui réunit cette capacité est la forme. Le modelage karstique affecte, également, les nœuds,

les alignements et les surfaces, mais seulement au niveau intégrateur de la forme où a lieu l'individualisation d'un nouveau contenu et d'une nouvelle fonctionnalité.

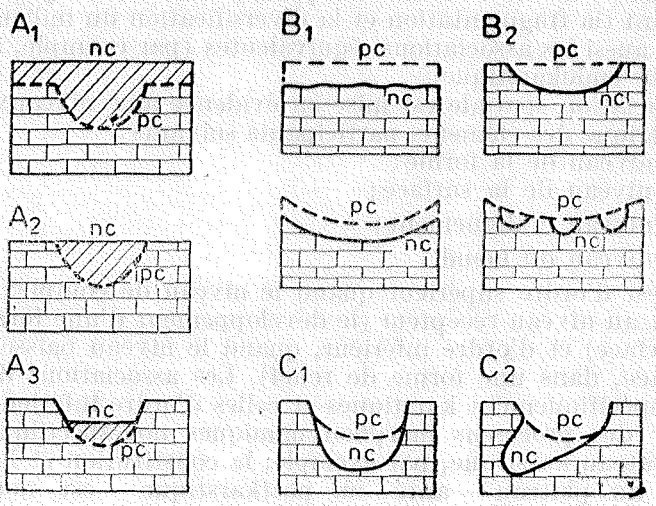

Fig. 2. Les rapports entre les éléments de l'association (pc — paléoconfiguration; nc — néoconfiguration). A. La compatibilité dimensionnelle: 1 — d'ordre supérieur; 2 — équivalent; 3 — d'ordre inférieur. B. La compatibilité de formes: 1 — congruentes; 2 — incongruentes. C. La compatibilité de position dans l'espace: 1 — conformes; 2 — contraires.

On peut définir comme forme karstique l'élément spatial et la division minimum spécifique au milieu karstique, générée par un transfert de matière, propre aux processus de dissolution. Quelques compléments et précisions s'imposent :

— le transfert de matière est soit destructif, soit constructif, mais génétiquement déterminé ;

— l'existence, dans un espace unitaire (l'ensemble spatial), de certaines divisions à formes générées par un transfert spécifique, détermine l'existence, dans leur voisinage, de certaines divisions à formes partiellement modifiées par ce transfert et d'autres non-modifiées ; on appelle ces divisions formes karstiques spécifiques, karstiques mixtes et, respectivement, non-spécifiquement karstiques ;

— la dimension de la forme n'est pas une condition de définition.

Les formes sont les éléments individuels du karst. Leur développement spatial se fait, par des associations spatiales contraires, dans les surfaces ou sur les alignements de la configuration réceptrice. La phase intermédiaire de ces associations est faite — génétiquement et dynamiquement — par des éléments géométriques de complexité inférieure, respectivement les alignements pour des surfaces et les nœuds pour des alignements, tant dans l'exokarst que dans l'endokarst. On peut considérer le nœud — l'intermédiaire final — comme : l'élément géométrique de liaison entre la configuration des causes et celle des effets. Il est en même

temps l'élément déterminant de l'association et de la connexion spatiale dans le karst.

Un milieu karstique virtuel est, donc, un réseau tridimensionnel de nœuds — des points virtuels d'association — où l'installation et le fonctionnement du système sélectionne les points d'intégration et de connexion de la diversité élémentaire — les nœuds fonctionnels. L'association des formes spécifiques, dans l'interface karstique, est en fait leur connexion spatiale et fonctionnelle par l'intermédiaire des nœuds significatives (fonctionnels) — les éléments de supraimposition de l'association. Par exemple, l'intégration d'un réseau endokarstique ou d'une vallée aveugle, dans l'ensemble karstique, a lieu par les nœuds des ouvertures et des points d'infiltration ; l'intégration d'une galerie, dans un réseau, par le nœud de l'intersection, l'intégration d'une stalactite dans une galerie, par le nœud du point d'égouttement etc. Par l'intermédiaire des nœuds les configurations contraires maintiennent leur unité spatiale et fonctionnelle, dans une association. La disparition du caractère fonctionnel des nœuds détermine, d'un côté, la stagnation du développement spatiale supraimposée et, d'un autre côté, l'isolement de la forme.

On peut définir comme association spatiale spécifiquement karstique : la configuration qui résulte de la connexion spatiale tridimensionnelle des formes karstiques et supraimposées par des chemins, intégrés dans la masse de la roche. Nous considérons une association spécifiquement karstique, seulement si sa production est réductible au déterminant ultime — le nœud —et le résultat est une connexion spatiale tridimensionnelle entre la forme externe et celle interne de la roche.

d. Les modalités d'association spatiale

L'association est un processus morphodynamique—présent à partir de l'échelle du mégarelief jusqu'à celle de l'inframicrorelief—qui génère des formes individualisées, ou des combinaisons de formes individualisées, dans tout type de relief. Par l'intégration du système morphodynamique kartstique, dans le milieu naturel, on retrouve associés, dans l'interface karstique, les types suivants de formes : karstiques spécifiques, karstiques, mixtes et non-spécifiquement kartstiques.

Les associations spatiales, dans le karst, se produisent dans une interdépendence qui les intègre en permanence à la configuration d'ensemble, mais les modalités de réalisation des associations différent en fonction de :

— la specificité exo- ou endogène de l'association ;

— le contenu sculptural on dépositionnel des formes individualisées participantes ;

— le niveau de complexité géométrique auquel se produit l'association.

1. *La spécificité exogène*

Au niveau genéral de la geosphère, dans tous les types de relief, les processus morphodynamiques se manifestent par deux tendances contraires : la fragmentation verticale, qui a pour résultat la constitution des directions unitaires et le nivelage latéral, qui a pour résultat la constitution des surfaces unitaires. La finalité du développement spatial est une unifor-

raisation de la surface générale, par une simplification du relief et une concentration de l'unité de drainage. Le déterminant ultime des associations non-karstiques est la surface générale de la géosphère.

Au niveau de la surface exokarstique se manifestent les mêmes directions de développement spatial — vertical et horizontal — mais le déterminant ultime des associations spécifiquement karstiques est le nœud vers le souterrain — le nœud intégrateur. La tendance générale d'association est contraire et le résultat discontinu, par une complication de l'espace et une dissimulation du drainage. Ainsi, le développement vertical dissimule les directions unitaires, non-karstiques et le développement latéral restreint ou élimine les surfaces nivelées. Dans le domaine exogène, l'association karstique est contraire aux autres processus exogènes et aux formes générées par ceux-ci. Elle est l'inverse du nivelage du relief.

Les associations exokarstiques se divisent, en fonction de la direction prédominante de développement spatial, comme le montre dans la figure 3 :

— des associations en gradins ; respectivement les degrés de niveau au cadre d'une forme ou des formes individualisées superposées (une doline dans une doline) ;

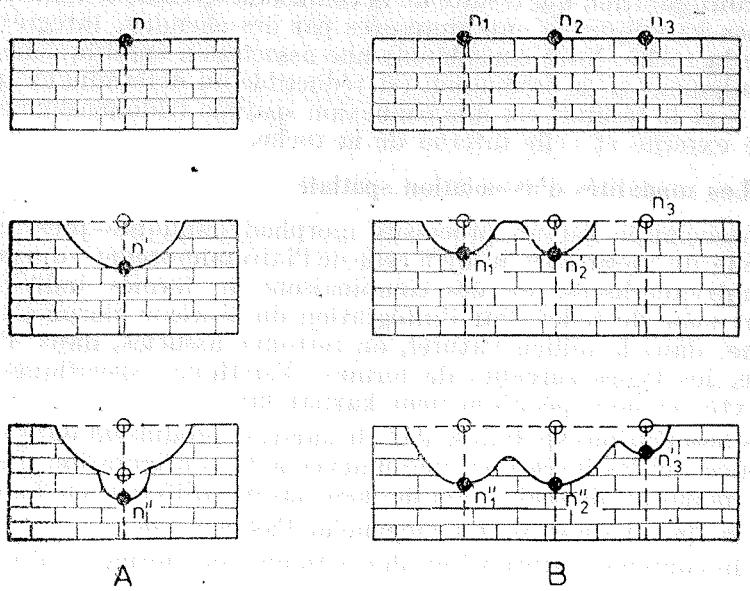

Fig. 3. Les associations des formes élémentaires, au niveau de l'exokarst, en fonction de la direction prédominante de développement spatial: A — en gradin; B — latérales (n-nœud).

— des associations latérales ; respectivement les formes adventives à une paléoconfiguration (dolines ouvertes, dolines adventives) ou les formes individualisées, dans la coalescence latérale (ouvalas).

Dans le karst, les associations en gradins représentent une continuité spatiale et fonctionnelle et celles latérales une tendance de continuité spatiale mais de discontinuité fonctionnelle.

2. *La spécificité endogène*

Au niveau du souterrain, les associations ont lieu dans les espaces libres existants dans le corps de la roche. La configuration et l'organisation interne prékarstiques de la roche manifeste aussi deux tendances contraires : un compactage et une uniformisation lithogénétique des irrégularités structurales ou texturales de la matière, d'une côté et une division et une hétérogénéité disjonctive ou duplicative de celle-ci, de l'autre côté. Le karst s'associe à l'organisation et à la géométrie de la roche, par deux effets spécifiques (donc contraires) : il détruit ou il divise la masse compacte, par des vides reliés en relais ; il réunit et il concentre les espaces ou les surfaces génératrices, divisées, par des chemins organisés en réseaux. Dans le souterrain, l'association karstique est contraire aux processus endogènes et aux résultats de ceux-ci. Elle est l'inverse de la lithogenèse.

Les associations karstiques souterraines se produisent soit au niveau de la forme générale du réseau et génèrent de nouveaux espaces ou directions dans le réseau soit au niveau de la surface enveloppante de la cavité et génèrent un élargissement des espaces existants. Seules les associations au niveau des directions générales du réseau sont spécifiques à l'endogène ; d'après les modalités de réalisation, cette catégorie se départage comme le montre dans la figure 4 :

— des associations en relais — enchaînées génétiquement du point de vue spatial en fonctionnel — produites de manière tridirectionnelle et se trouvant par l'intermédiaire des nœuds endogènes, dans une continuité spatiale permanente et fonctionnelle ;

— des associations par la coalescence latérale — un cas particulier de développement spatial aux niveaux des surface enveloppantes, jusqu'à la liaison des espaces voisins, surimposant un nouveau nœud et une nouvelle direction fonctionnelle.

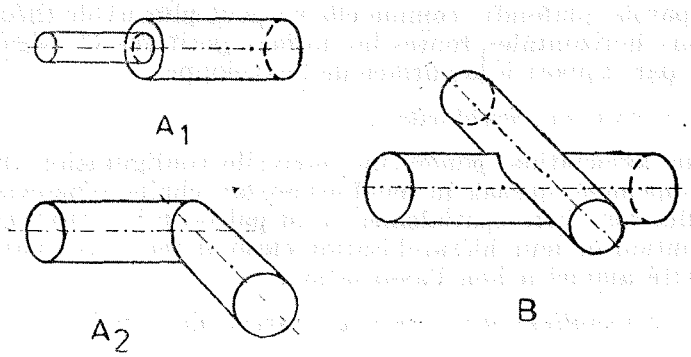

Fig. 4. Les associations des formes élémentaires, au niveau de l'endokarst: A — association en relais; B — association par coalescence latérale.

3. *Le contenu de l'association*

Le flux de matière et d'énergie par le système karstique détermine des modifications dans le contenu des causes. L'intégration d'un contenu karstique suppose des associations contraires et incongruentes autant

sculpturales que dépositionnelles, au niveau de la paléoconfiguration. L'association sculpturale transforme et induit le contenu antérieur dans le flux de matière du système et l'association dépositionnelle le couverte, par inhumation, au nouveau contenu. Le contenu induit et celui inhumé peuvent être soumis à de nouvelles associations contraires : le premier générant des agrégations de dépôts intrakarstiques ou périkarstiques (par précipitation chimique ou par sédimentation) et le second supportant des fragmentations structurales (par inhumation ou par exhumation). Le cycle continue jusqu'à la traversée du système.

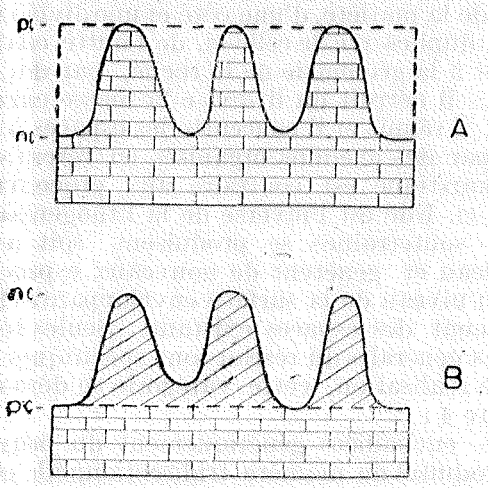

Fig. 5. Le rapport entre la paléoconfiguration (pc) et la néoconfiguration (nc), en fonction du contenu de l'association: A — sculpturale; B — dépositionnelle.

En considérant théoriquement la surface générale du milieu naturel une surface horizontale, l'association d'un développement spatial karstique, donc contraires, détermine une modification de la surface dans :

— des formes négatives ;

— des formes positives.

Aux formes sculptées la surface initiale reste dans la forme positive et à celles accumulées, dans la forme négative (fig. 5).

Sous terre, la surface générale étant celle qui enveloppe la cavité (plancher, parois, plafond) ; comme elle ne peut plus avoir théoriquement des positions horizontales, toutes les formes positives et négatives sont considérées par rapport à la surface de l'enveloppe.

4. *Le niveau de complexité*

Chaque association génère une nouvelle configuration (une forme) et le développement spatial du relief génère une chaîne d'associations (des formes). Elles sont liées spatialement à la paléoconfiguration génératrice, leur distribution et leur hiérarchisation étant déterminées par le niveau de complexité auquel a lieu l'association.

1° *Les associations des formes au niveau du nœud*

Les nœuds sont, soit des points de connexion entre les éléments d'une forme individualisée, soit des niveaux de connexion entre deux ou plusieurs formes individualisées. Le type d'association dépend de la direction dominante du développement spatial (fig. 6) :

— des associations à prédominance unidirectionnelle — des alignements de formes (une salle avec une galerie) ;

— des associations à prédominance bidirectionnelle — des tournants, des intersections de formes produites dans le même plan ;

— des associations tridirectionnelles — des intersections de formes produites dans l'espace (en plusieurs plans).

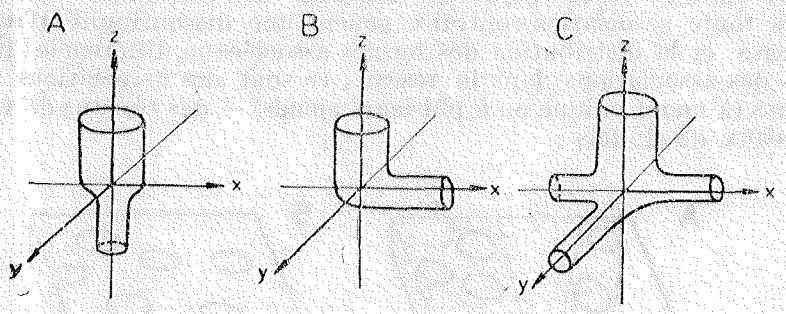

Fig. 6. Les associations des formes élémentaires, au niveau du nœud: A — alignement; B — tournant; C — intersections en plusieurs pans.

2° *Les associations des formes au niveau de l'alignement*

Les alignements sont des niveaux de continuité, quand les association sont déterminées par un nœud fonctionnel et de discontinuite quand elles se constituent en un alignement de nœuds fonctionnels. La modalité d'association, dans leur cadre, est montrée dans la figure 7 :

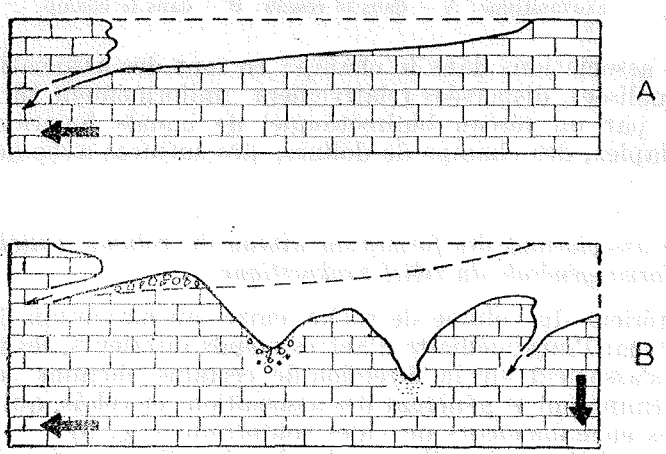

Fig. 7. Les associations des formes élémentaires, au niveau de l'alignement karstique: A — association à prédominance unidirectionnelle et à nœud unique; B — association à prédominance bidirectionnelle et à plusieurs nœuds.

— des associations à prédominance unidirectionnelle et à nœud unique — une vallée aveugle, des reculées;

— des associations à prédominance bidirectionnelle et à plusieurs nœuds — une vallées à dolines.

3° *Les associations des formes au niveau de la surface exokarstique ou de la surface enveloppante de la cavité*

Les surfaces représentent des éléments de continuité au niveau desquels toute association contraire génère une discontinuité. D'après la complexité et la distribution des formes associées on différencie (fig. 8) :

— des associations dans le réseau ; ce sont des associations d'alignements (à nœud unique ou à plusieurs nœuds) — des réseaux de vallées, des réseaux de dolines ;

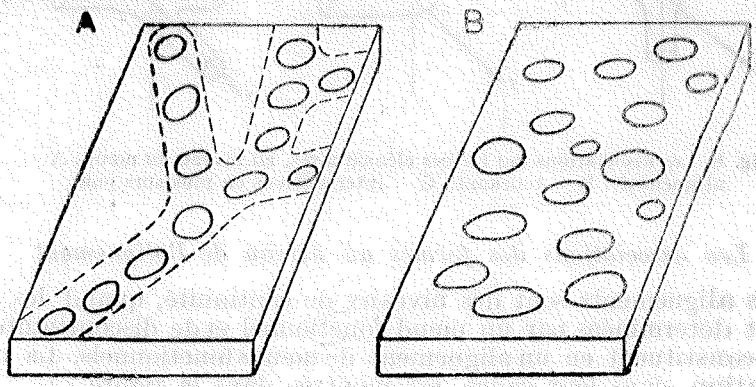

Fig. 8. Les associations des formes élémentaires, au niveau de la surface exokarstique: A — dans le réseau; B — dans le champ.

— des associations dans le champ ; ce sont des associations de formes individualisées, dispersées relativement uniformément sur la surface, déterminées par un réseau bidirectionnel de nœuds fonctionnels — des champs de lapiez, des champs de dolines, des surfaces avec des hiéroglyphes.

4° *Les associations des formes au niveau du volume endokarstique ou de la forme générale du relief exokarstique*

A l'intérieur du volume de roche, entre au maximum deux nœuds extérieurs et par l'intermédiaire d'autres nœuds intérieurs, les formes individualisées s'associent sur la direction de certains chemins fonctionnels. Ces voies surimposent et génèrent des associations en relais, qui constituent les types des enchaînements de vides souterrains (fig. 9) :

— des enchaînements directs ; le chemin direct entre deux nœuds extrêmes (entrée-sortie) ;

— des enchaînements optimaux ; le chemin optimal (unique) entre deux nœuds extrêmes, réalisé par l'intermédiaire de certains nœuds intermédiaires, entre lesquels il y a au minimum une associaiion à prédominance bidirectionnelle (tournants, ruptures de pente, points d'inflexion) ;

— des enchaînements critiques (réseaux critiques) ; le chemin critique entre deux nœuds extrêmes, réalisé par des voies multiples (boucles) et par des nœuds intermédiaires (intersections).

Ces trois types d'enchaînement se trouvent aussi associés dans la configuration des réseaux exokarstiques (lapiez, réseaux des vallées, réseaux des dolines). A la surface, les chemins directs, optimaux et critiques, ne sont pas des associations spécifiques kartiques.

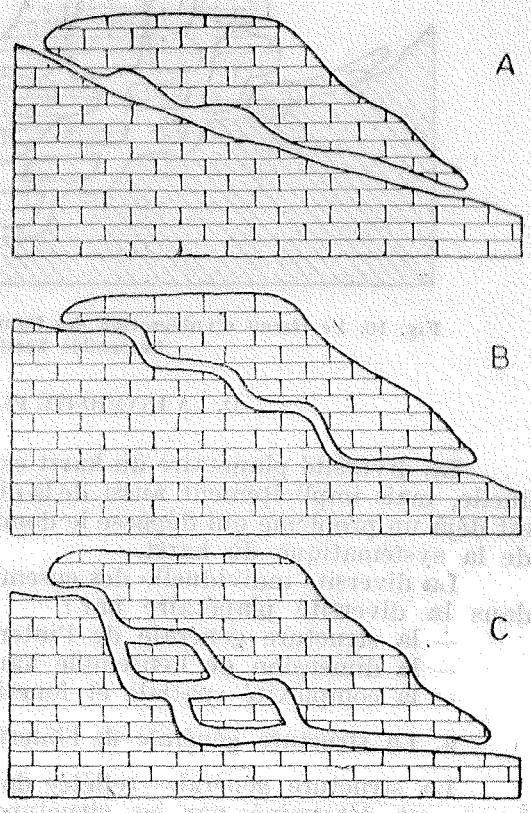

Fig. 9. Les associations des formes élémentaires, au niveau du volume endokarstique: A — enchaînement direct; B — enchaînement optimal; C — enchaînement critique.

5° *Les associations des formes au niveau de l'ensemble karstique*

Au niveau de l'ensemble du karst se réalise l'unité spatiale et fonctionnelle de tous les types d'associations présentées antérieurement. La configuration spécifique qui a résulté est le réseau d'intégration, constitué de l'union — par l'intermédiaire des nœuds d'entrée ou de sortie du karst — de toutes les cavités et les réseaux souterrain avec toutes les formes individualisées, les alignements ou les réseaux de formes exokarstiques (fig. 10).

Les réseaux d'intégration sont le niveau maximum de réflexion de la complexité et de la diversité individuelle du karst. Dans leur cadre s'associent toutes les formes individualisées — sculpturales et dépositionnelles, exokarstiques et endokarstiques, par toutes les modalités — dans une connexion spatiale et fonctionnelle (directe-actuelle ou génétique-antérieure).

Le développement spatial d'un réseau d'intégration, dans l'interface karstique, détermine la dimension de l'ensemble karstique unitaire — de l'individu karstique.

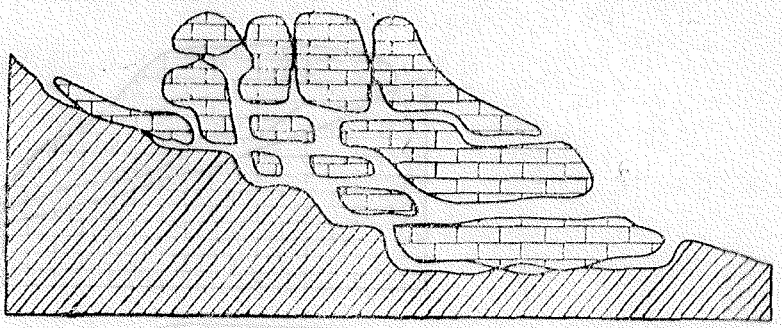

Fig. 10. Le réseau d'intégration des formes élémentaires, au niveau de l'ensemble karstique.

D. LA DIVERSITÉ PLANÉTAIRE

La diversité planétaire du karst est la somme de la diversité individuelle, mais implicitement aussi de la diversité élémentaire. Son analyse est déjà un problème qui dépasse le domaine de la taxonomie, tant un but de la systématique du karst.

La diversité individuelle des ensembles karstiques unitaires s'inscrit dans la diversité planétaire par :

— la structure générale de l'interface karstique ;
— la dimension de l'ensemble karstique unitaire ;
— la complexité spatiale et fonctionnelle de l'interface karstique.

a. La structure générale de l'interface karstique

La structure générale — reflétée dans la configuration extérieure du karst — est déterminée par les structures fondamentales, dominantes — zonales et azonales — de la géosphère. Son rangement suppose, d'un côté une classification génétique du karst, au niveau des structures fondamentales, dominantes et, d'un autre côté, une régionalisation globale de ces structures. La classification génétique établit des catégories de domaines et de structures fondamentales, karstiques et la régionalisation des supra-unités régionales karstiques.

Parmi les classifications concernant la diversité planétaires nous désirons remarquer les synthèses effectuées par D. Balasz (1977) et R. Maire (1980). La première est une classification et une régionalisation des domaines structural-géologiques du karst et la deuxième est une régionalisation morphoclimatique des principales régions karstiques du globe.

b. La dimension de l'ensemble karstique unitaire

La dimension de l'ensemble est déterminé par l'espace d'intégration génétique du système morphodynamique karstique. Son rangement suppose la classification des ensembles karstiques unitaires dans des catégories

dimensionnelles subordonnées aux structures fondamentales génératrices, respectivement dans des méga-, des macro-, des micro- et des inframicroensembles spatiaux.

c. La complexité spatiale et fonctionnelle de l'interface karstique

La complexité de l'interface karstique est déterminée par le degré d'intégration et de hiérarchisation évolutive du système morphodynamique karstique, dans les milieux karstiques constitués génétiquement et délimités du point de vue spatial. La complexité se reflète dans la forme et l'organisation interne des ensembles unitaires — la configuration des chemins d'intégration. La classification évolutive établit des catégories taxonomiques, respectivement des configurations spatiales et fonctionnelles de karst.

Les critères de rangement de la diversité planétaire du karst s'intègrent, par la dépendance, l'un à l'autre, la diversité universelle étant donc un reflet de la diversité élémentaire dans celle évolutive, déterminée à son tour génétiquement, par l'espace de constitution du karst et par les structures fondamentales de la géosphère (fig. 11).

En conclusion, le reflet de la diversité du karst a lieu au niveau des surfaces, pour la diversité élémentaire, au niveau des formes individualisées, pour la diversité individuelle et au niveau de la forme d'ensemble, pour la diversité planétaire.

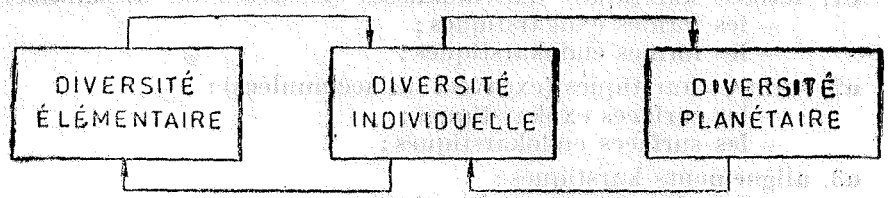

Fig. 11. Les critères d'ordre entre les trois aspects de la diversité de l'univers karstique.

V. LES KARSTOTAXONS DU DOMAINE MORPHOLOGIQUE

Le karst, catégorie morphodynamique planétaire, est constitué par la somme de toutes les catégories dimensionnelles des milieux karstiques, dissimulées dans la géosphère et subdivisées dans des ensembles spatiaux unitaires, par l'association des formes et des éléments constitutifs. Nous dénommons les catégories dimensionnelles et constitutives du karst des karstotaxons.

Comme une conclusion de cette première partie nous considérons que le domaine morphologique karstique se divise en trois grandes catégories spatio-fonctionnelles de karstotaxons et le contenu de chaque catégorie prise séparément se classifie en cinq groupes dimensionnels-re-

latifs. Nous proposons le schéma suivant de systématisation des karstotaxons :

a. **milieux karstiques individualisés** — catégorie spatiale, unitaire, hétérogène ou homogène, présente à l'échelle de certains :
- a1. mégasommes ;
- a2. macrosommes ;
- a3. mésosommes ;
- a4. microsommes ;
- a5. inframicrosommes.

b. **ensembles karstiques individualisés** — catégorie spatio-fonctionnelle individualisée, relativement homogène, présente à toute échelle dimensionnelle-relative :
- b1. mégaensembles ;
- b2. macroensembles ;
- b3. mésoensembles ;
- b4. microensembles ;
- b5. inframicroensembles.

c. **éléments de relief individualisés** — catégorie spatio-fonctionnelle, constitutive et élémentaire, présente à toute échelle dimensionnelle-relative (mégaéléments, macroéléments, mésoéléments, microéléments, inframicroéléments), subdivisée, du point de vue de la complexité géométrique et de la position dans le corps karstique, en :
- c1. formes karstiques individualisées (excavées ou accumulées) :
  - — les formes exokarstiques ;
  - — les formes endokarstiques ;
- c2. surfaces karstiques (excavées ou accumulées) :
  - — les surfaces exokarstiques ;
  - — les surfaces endokarstiques ;
- c3. alignements karstiques :
  - — les alignements exokarstiques ;
  - — les alignements endokarstiques ;
- c4. nœuds karstiques :
  - — les nœuds exokarstiques ;
  - — les nœuds intégrateurs ;
  - — les nœuds endokarstiques.

Ce schéma des karstotaxons, limité au domaine morphologique, peut être complété avec les autres subdivisions du milieu karstique, respectivement les karstotaxons d'autres domaines et structures karstiques — effectives, contingents ou occasionnelles.

BIBLIOGRAPHIE

1977 BALASZ D. The Geographical Distribution of Karst Areas. Proc. 7th. Intern. Speleol. Congr., 12—15, Sheffffield.

1982 BLEAHU M. Relieful carstic. Ed. Albatros, 296 p., Bucureşti.

1991 DECU V., RACOVITZA GH., VACZY C. Sur la nomenclature des milieux souterrains. Trav. Inst. Spéol. « E. Racovitza », **XXX**, 63—67, Bucarest.

1973 GEZE B. Lexique des termes français de spéléologie physique et de karstologie. Ann. Spéléologie, **28**, *1*, 1—20.
1988 GORAN C. Considérations théoriques sur le modelage karstique. Trav. Inst. Spéol. «E. Racovitza», **XXVII**, 95—97, Bucarest.
1991 GORAN C. Spéléométrie des cavités et des réseaux souterrains. I. Les paramètres spéléométriques: définition et utilisation. Trav. Inst. Spéol. «E. Racovitza», **XXX**, 129—158, Bucarest.
1992 GORAN C. La configuration et le développement spatial des cavités et des réseaux karstiques. Première partie. Note 1ère. Theoretical and applied karstology, **5**, 13—65, Bucarest.
1986 MACI I. Elemente de geomorfologie dinamică. Ed. Acad., 214 p., București.
1980 MAIRE R. Eléments de karstologie physique. Spelunca, supl. **1**, 57 p.
1975—76 MANGIN A. Contributions à l'étude hydrogéologiques des aquifères karstiques. Ann. Spéléol., **29**, *3*, 283—382; **29**, *4*, 495—601; **30**, *1*, 21—124.
1991 MATILE L., TASSY P., GOUJET D. Introduction à la systématique zoologique (Concepts, Principes, Méthodes, Soc. fr. Systém., Biosystèma, **1**.
1990 POVARĂ I., GORAN C.), GUTT W. Speologia — ghid practic. Ed. Sport-Turism, 237 p., București.
1958 RENAULT PH. Eléments de spéléomorphologie karstique. Ann. Spéléol., **XIII**, *1—4*.
1977 RENAULT PH. Remarques sur les notions de karst et de karstification et sur la définition de ces termes Norois, **24**, *95*, 23—35.
1977 ROȘU AL., UNGUREANU IRINA Geografia mediului înconjurător. Ed. Did. Ped., 247 p., București.
1991 SILVESTRU E. Proposition pour classification lithogénétiquer des formes karstiques et apperentées. Karstologia, **15**, 55—57.
1961 SIMPSON G.G. Principles of Animal Taxonomy. Columbia Univ. Press, 247 p., New York.
1978 *** Dicționar de filozofie, Ed. Politică, București.

Institut de Spéologie «Emile Racovitza»
11, rue Frumoasă, 78114 — București, 12 (Roumanie)
Reçu le 15 Avril 1993