

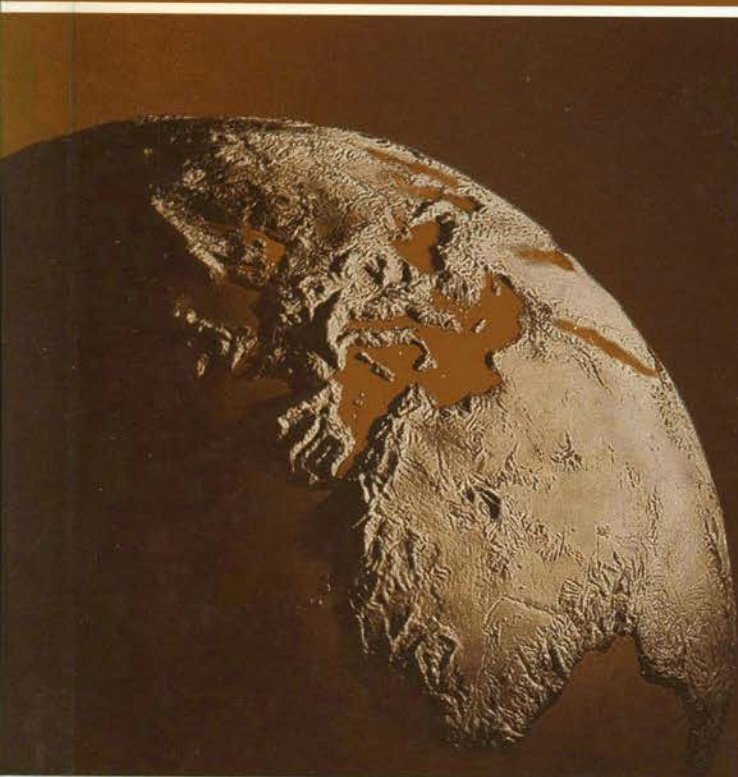


ADELIN VILLEVIEILLE



LES RISQUES NATURELS

EN MÉDITERRANÉE



***SITUATION
ET
PERSPECTIVES***

Les Fascicules du Plan Bleu

10



ECONOMICA

LES RISQUES NATURELS

EN MÉDITERRANÉE

Les fascicules du Plan Bleu
sous la direction de Michel Batisse

1. *Pêche et aquaculture en Méditerranée : état actuel et perspectives*
(Daniel Charbonnier *et al.*).
2. *Les forêts méditerranéennes : enjeux et perspectives*
(Henri Marchand *et al.*) – Nouvelle édition en préparation.
3. *Conservation des écosystèmes méditerranéens : enjeux et perspectives*
(François Ramade *et al.*) – Nouvelle édition.
4. *Industrie et environnement en Méditerranée : évolution et perspectives*
(Jacques Giri *et al.*).
5. *Les îles en Méditerranée : enjeux et perspectives*
(Louis Brigand *et al.*).
6. *L'eau dans le bassin méditerranéen : situation et prospective*
(Jean Margat *et al.*).
7. *Énergie et environnement en Méditerranée : enjeux et prospective*
(Michel Grenon *et al.*).
8. *Tourisme et environnement en Méditerranée : enjeux et prospective*
(Robert Lanquar *et al.*).
9. *Transports et environnement en Méditerranée : enjeux et prospective*
(Christian Reynaud *et al.*).
10. *Les risques naturels en Méditerranée : situation et perspectives*
(Adelin Villevieille *et al.*).

Programme des Nations Unies pour l'environnement

PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE

Les Fascicules du Plan Bleu

10

LES RISQUES NATURELS

EN MÉDITERRANÉE

SITUATION ET PERSPECTIVE

par

Adelin Villevieille et al.

Préface de

Michel BATISSE

 **ECONOMICA**

49, rue Héricart, 75015 Paris

Plan Bleu pour la Méditerranée
Centre d'Activités Régionales
Sophia Antipolis – France

Ce fascicule est publié sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'environnement dans le cadre du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM). Ce plan, adopté en 1975, est mis en œuvre de façon collective par l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée et la Commission Européenne, qui en assurent la supervision et la majeure partie du financement. Le PAM comporte plusieurs éléments et notamment un travail d'observation, d'analyse systémique et de prospective sur l'évolution des rapports entre population, ressources, environnement et développement dans l'ensemble du bassin méditerranéen, appelé le Plan Bleu. Le rapport principal sur les scénarios prospectifs élaborés dans ce cadre a été publié en 1989 sous forme d'un ouvrage intitulé :

Le Plan Bleu : Avenirs du bassin méditerranéen
sous la direction de Michel Grenon et Michel Batisse,
xviii + 442 pp., 69 figures, 59 tableaux
Economica, 49, rue Héricart, 75015 Paris.

Le rapport principal est également publié en anglais :

Futures for the Mediterranean Basin : The Blue Plan.
Edited by Michel Grenon & Michel Batisse
xviii + 280 pp., 69 figures ; 68 tables.
Oxford University Press. Oxford OX26DP

Il a été aussi publié en arabe par les soins de Edifra, 22, bd Poissonnière, 75009 Paris, en espagnol par les soins du ministère des Travaux Publics et des Transports, Madrid et en turc par les soins du ministère de l'Environnement, Ankara.

*
* *

En complément de ce rapport, un certain nombre de "fascicules" thématiques portant sur les grands secteurs de l'économie et sur les principaux milieux géographiques de la région méditerranéenne sont préparés et publiés de façon échelonnée dans la série des « **Fascicules du Plan Bleu** ».

Les travaux relatifs au Plan Bleu dans le cadre du PAM sont réalisés par le Centre d'Activités Régionales du Plan Bleu pour la Méditerranée (CAR/PB), association de droit français dont l'objet est d'apporter un appui scientifique et logistique à ce programme. Le fonctionnement du CAR/PB est assuré notamment grâce à l'appui financier du Ministère français de l'Environnement.

L'Unité de Coordination du PAM est installée à Athènes, Vassileos Konstantinou 48, GR 11610, Athènes, Grèce.

Le CAR/PB est installé 15, avenue Ludwig van Beethoven, à Sophia-Antipolis, 06560 Valbonne, France (Tél. 04.93.65.39.59 – Fax 04.93.65.35.28).

Table des matières

Préface	VII
Introduction	1
Chapitre I. Présence du risque en Méditerranée	9
1. Une histoire des risques méditerranéens	9
2. Perception du risque méditerranéen : l'Homme et la Société ..	18
3. Le risque futur : les tendanciels méditerranéens	24
Chapitre II. Problématique des risques méditerranéens	31
1. Risques tectoniques : séismes et volcans	31
2. Risques hydrométéorologiques : inondations et glissements de terrain	49
3. Risques climatiques : sécheresses et feux de forêt	66
Chapitre III. Stratégies contre les risques méditerranéens	87
1. Mobilisation des ressources humaines	89
2. Techniques de lutte contre les risques	100
3. Gestion de la crise	111
Chapitre IV. Clés pour le futur	123
1. Anticipations : menaces probables et parades possibles	124
2. La recherche appliquée	129
3. La coopération internationale en Méditerranée	135
Annexes	145
1. Références principales	145
2. Quelques adresses utiles	148
3. Les scénarios originels du Plan Bleu	156
Index	159

Préface

La présente publication, ainsi que toutes celles qui paraissent dans la série des « Fascicules du Plan Bleu », ne constitue pas seulement une mise au point sur le thème dont elle traite, et qui fait peut-être l'objet d'autres ouvrages plus techniques ou plus détaillés. Elle s'inscrit surtout dans un cadre conceptuel et institutionnel particulier qu'il importe de retracer brièvement, afin de bien saisir sa portée et son originalité. C'est le but principal de cette préface, qui évoque d'abord le Plan d'Action pour la Méditerranée, qui rappelle la nature du Plan Bleu et de ses différents scénarios pour l'avenir, qui indique pourquoi et comment sont préparés les fascicules, et précise en particulier le contenu et la source du présent travail.

Le Plan d'Action pour la Méditerranée

Inquiets de voir se dégrader la mer qui constitue leur lien naturel et leur bien commun, les pays riverains de la Méditerranée, réunis à Barcelone au début de 1975 sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'environnement, décidèrent de lancer un « Plan d'Action » et de signer une « Convention pour la Protection de la Mer Méditerranée contre la Pollution ». Depuis lors, la Convention est entrée en vigueur et a été assortie d'un certain nombre de protocoles, portant sur les opérations d'immersion effectuées par les navires, sur la lutte contre la pollution par les hydrocarbures, sur la protection contre la pollution d'origine tellurique, ou sur l'établissement et la gestion d'aires spécialement protégées.

Quant au Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM), il est mis en œuvre de façon continue par les soins d'une Unité de Coordination située à Athènes, son contenu et son financement étant décidés par des réunions bisannuelles des Parties contractantes à la Convention de Barcelone. Il y a lieu de souligner qu'il s'agit là du seul mécanisme de coopération régionale auquel participent tous les pays riverains de la Méditerranée sans exception, ainsi d'ailleurs que l'Union Européenne, et que ce mécanisme fonctionne convenablement depuis plus de vingt ans en dépit des difficultés d'ordre politique ou économique de cette région. En 1995, à l'occasion du vingtième anniversaire de la Convention, les Parties contractantes réunies à nouveau à Barcelone ont procédé à son amendement, visant essentiellement à l'orienter davantage dans l'esprit de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement tenue à Rio en 1992 et à étendre la coopération vers les régions côtières de la Méditerranée ainsi que vers la conservation de la diversité biologique.

VIII PRÉFACE

Le PAM est en premier lieu destiné à faciliter la mise en œuvre effective de la Convention et de ses protocoles. C'est pourquoi il accorde une place importante à l'étude et à la surveillance continue de la pollution marine sous ses diverses formes et selon ses sources multiples. Ces activités de recherche, de formation de spécialistes, d'évaluation de l'état de la mer, de coordination et d'assistance aux laboratoires de la région, ainsi que de fixation de mesures de contrôle communes, constituent un large programme appelé MEDPOL. Cependant, dès l'origine du PAM, certains pressentaient qu'en réalité, la mer Méditerranée souffrait surtout de ce qui se passait à terre, et que c'étaient les activités terrestres plutôt que marines des pays riverains qui faisaient courir, non seulement à la mer elle-même mais aux espaces côtiers et aux régions qui l'entourent, les dangers les plus graves. C'est ce pressentiment qui fut à l'origine des éléments « socio-économiques » du PAM. L'un de ces éléments porte sur un ensemble d'activités de caractère pratique dans des domaines intéressant l'environnement et où peut s'exercer une coopération technique entre pays méditerranéens : c'est le Programme d'Actions Prioritaires mis en œuvre à partir d'un centre d'activités régionales du PAM situé à Split (Croatie). L'autre élément, fondé sur l'observation, l'analyse, l'évaluation et la prospective des rapports entre environnement et développement, est le Plan Bleu, qui est conduit par un autre centre d'activités régionales à Sophia-Antipolis, près de Nice, en France.

Le Plan Bleu et sa démarche

L'objectif de base assigné au Plan Bleu est de « mettre à la disposition des autorités responsables et des planificateurs des différents pays de la région méditerranéenne des renseignements qui leur permettent d'élaborer des plans propres à assurer un développement socio-économique optimal soutenu sans entraîner une dégradation de l'environnement ». Ainsi, ce travail n'a jamais été envisagé comme un plan, au sens d'un instrument contraignant de planification économique centralisée pour l'ensemble du bassin, mais plutôt comme un outil destiné à explorer et à expliciter l'évolution des relations systémiques entre la population, les ressources naturelles, l'environnement et le développement. Il porte de ce fait beaucoup plus sur ce qui se passe dans les pays que sur la mer elle-même, préfigurant ainsi l'élargissement du PAM vers les régions côtières décidé à Barcelone en 1995 et n'est donc qualifié de « bleu » que de façon un peu symbolique.

La méthode choisie en matière de prospective a consisté dans une première étape à élaborer un certain nombre de « scénarios » fournissant des images possibles du futur à l'horizon 2000 – horizon maintenant très proche et pour lequel les dés sont évidemment jetés – et à l'horizon 2025, pour lequel de larges options demeurent ouvertes, mais qui n'est cependant pas très éloigné quand on songe à la lenteur des changements de comportement qui sont nécessaires ou au temps requis pour obtenir des résultats en matière d'environnement, par exemple dans le reboisement, la lutte contre l'érosion ou l'assainissement des milieux récepteurs de rejets. Selon des jeux cohérents d'hypothèses concernant les évolutions démographiques, les stratégies de développement et la croissance économique,

les politiques d'environnement et de gestion de l'espace, et le niveau de coopération intra-méditerranéenne, les différents scénarios retenus par le Plan Bleu ont ainsi exploré les avenir possibles du « système méditerranéen », c'est-à-dire à la fois l'agriculture, l'industrie, l'énergie, le tourisme, les transports, l'urbanisation, et leurs interactions avec les sols, les forêts, les eaux continentales, le littoral et la mer. Les hypothèses portant sur la population ou la croissance sont quantitatives. Celles ayant trait aux choix stratégiques ou à l'environnement sont qualitatives.

Deux types de scénarios ont été élaborés. D'une part, des *scénarios tendanciels*, fondés sur un développement mondial à croissance plus ou moins accentuée mais qui décrivent des évolutions ne marquant pas de fortes ruptures par rapport aux tendances stratégiques actuelles et qui se situent en deçà ou au-delà d'un *scénario tendanciel de référence (scénario T1)* ; lequel enregistre essentiellement le prolongement des courbes actuelles dans une logique marquée par le libéralisme. D'autre part, des *scénarios alternatifs* où l'on s'écarte délibérément des tendances observées jusqu'ici, et qui sont caractérisés par une attitude plus volontariste des gouvernements méditerranéens, tant en ce qui concerne leurs stratégies de développement et leurs politiques environnementales que l'importance donnée à une coopération intra-méditerranéenne effective.

Des images possibles de l'avenir

Ces premières études prospectives ont permis de dégager des tableaux assez précis de l'avenir pour les différents secteurs d'activité ou les différents milieux selon les jeux d'hypothèses choisis dans les scénarios. Le rapport principal sur ces travaux a été publié sous le titre « *Le Plan Bleu : Avenirs du Bassin Méditerranéen* » par les éditions Économica (Paris). Il a été également publié en anglais par Oxford University Press, en arabe par Edifra (Paris), en espagnol par le Ministère espagnol des travaux publics, et en turc par le Ministère turc de l'environnement. Seule la consultation de cet ouvrage, qui pour l'essentiel, est toujours d'actualité, permet de saisir l'ensemble complexe des options qui s'offrent pour l'avenir des méditerranéens, de leur environnement et de leur développement. Il importe cependant de rappeler schématiquement ici les grandes lignes des conclusions atteintes selon les différents scénarios élaborés à l'origine par le Plan Bleu.

Dans un *scénario de faible croissance économique, dit tendanciel aggravé T2*, moins favorable que le scénario tendanciel de référence, une croissance lente de l'économie mondiale se traduirait par une croissance économique également lente à l'échelle méditerranéenne à cause des interdépendances de la région vis-à-vis des autres régions, et ces conditions de développement affecteraient pratiquement tous les secteurs. A la stagnation des pays du Nord du bassin correspondraient d'énormes difficultés de développement pour les pays du Sud et de l'Est, au point que certains pays verraient décroître les niveaux de production et de consommation par tête dans des secteurs aussi vitaux que la production agricole ou la consommation d'énergie, ce qui signifierait une dégradation progressive de leurs conditions socio-économiques. Le financement de la croissance industrielle serait freiné par le manque de moyens et par le poids d'une dette per-

sistante. La sauvegarde de l'environnement bénéficierait de peu de moyens d'intervention ou de prévention, se traduisant par des mesures au coup par coup, tardives et insuffisantes, dans le cadre de réglementations mal appliquées et avec des réticences à tous les niveaux. Une des évolutions les plus préoccupantes, surtout dans les pays du Sud et de l'Est, serait la disparition progressive de nombreuses forêts (bois de feu et surpâturage) entraînant une érosion parfois irréversible des sols, et perturbant les régimes d'écoulement et de régulation des eaux. Les terres marginales de ces pays seraient soumises à de fortes pressions, conduisant à leur dégradation. Les ressources en eau seraient sollicitées à l'excès dans les pays du Sud et celles des grandes régions agricoles des pays du Nord seraient menacées par une pollution croissante (azote des engrais). En revanche, certaines pressions et pollutions seraient moindres que pour d'autres types de développement, à cause de la stagnation ou de la faible croissance des activités économiques. La population du bassin atteindrait son niveau maximum, les classes en âge de travailler, très nombreuses dans les pays du Sud, se heurtant à un insurmontable sous-emploi. La croissance urbaine atteindrait, elle aussi, son niveau maximum (en chiffres absolus), les villes souffrant de services mal assurés et de conditions sanitaires préoccupantes.

En fait, dans ce scénario, il est vraisemblable, sinon certain, que des ruptures, sociales ou géopolitiques, se produiraient bien avant l'horizon 2025, comme certains événements le laissent aujourd'hui présager, et obligeraient à infléchir les politiques et les comportements, c'est-à-dire à « changer de scénario ».

La reprise vers la fin des années 1990 de la croissance économique à l'échelle mondiale et une meilleure coordination entre les grands partenaires (États Unis – Europe – Japon) auraient un effet certain d'entraînement sur les économies des pays du bassin méditerranéen (*scénario de forte croissance économique, dit tendancier modéré T3*). Les pays de l'Union européenne, par exemple, gagneraient en moyenne dans ce scénario un demi point de croissance – ce qui est important sur trois décennies – et influenceraient positivement le développement des autres pays du bassin. Dans les pays du Sud et de l'Est, les gains globaux de production seraient renforcés par une augmentation moins forte des populations (totales et urbaines) conduisant à des améliorations sensibles des indicateurs socio-économiques par habitant, c'est-à-dire du bien-être économique et social. Les rendements agricoles seraient pratiquement doublés dans la période 1985-2025, une partie des productions d'une agriculture fortement intensifiée étant orientée vers les marchés européens et internationaux, dans un climat général de croissance des échanges ; les industries des pays du Nord du bassin accroîtraient leur spécialisation dans les secteurs de pointe, alors que les industries de base et de biens manufacturés et agro-alimentaires des pays du Sud et de l'Est connaîtraient un développement spectaculaire, au point de dépasser peu à peu les niveaux de production des pays du Nord. L'intensification de l'agriculture elle-même, avec des pratiques d'irrigation économisant l'eau, induirait dans ces pays une forte demande industrielle : engrais, tracteurs, machines, etc. Tout conduirait à une forte croissance des consommations d'énergie (supérieures d'environ 70 % au scénario précédent) et notamment de l'électricité, faisant appel à toutes les sources possibles.

Bien que les moyens législatifs et financiers et les outils techniques d'intervention pour la sauvegarde de l'environnement et des milieux naturels soient plus aisément disponibles, ce scénario se révèle paradoxalement le plus menaçant pour l'environnement, à cause du niveau élevé de toutes les activités économiques et des retards à la mise en application de mesures qui, de toute façon, visent à combattre les effets de la pollution *a posteriori* plutôt que de la prévenir. Dans ce type de croissance insuffisamment soucieux de l'environnement, les pressions sur le littoral seraient particulièrement graves, sinon impossibles à maîtriser, la plupart des activités s'y étant concentrées, et y suscitant des conflits aigus d'utilisation (certaines utilisations étant mutuellement exclusives). Des ruptures économiques et plus encore d'irréversibles dégradations écologiques seraient les signaux d'alarme de menaces plus lointaines, mais plus graves encore.

Ces deux types extrêmes de scénarios tendanciels ont montré les difficultés du développement, surtout pour les pays du Sud et de l'Est du bassin méditerranéen, dans un climat international de vive concurrence, que la croissance économique soit lente ou au contraire soutenue (avec ses effets pervers), ce qui se traduit par une attention insuffisante portée à l'environnement naturel et humain.

En permettant une meilleure répartition des efforts, un partage des connaissances et des expériences, et une organisation des marchés, la coopération internationale dans un monde multipolaire plus équilibré et surtout une coopération intra-méditerranéenne plus effective pourraient donner une impulsion nouvelle aux économies et aux sociétés de la région. Cette volonté de coopération est la caractéristique principale des scénarios alternatifs, l'un fondé sur une forte coopération Nord-Sud (*scénario alternatif de référence 1*) où l'Union européenne joue un rôle d'entraînement plus marqué, l'autre accompagné également d'une coopération sous-régionale Sud-Sud par groupes de pays, tels que le grand Maghreb, (*scénario alternatif avec agrégation A2*).

Ces scénarios comporteraient une très forte croissance agricole, allant jusqu'au triplement des productions de 1985 à 2025 pour certains pays, mais largement fondée sur des pratiques de forte économie d'eau dans l'irrigation. La croissance industrielle au Sud et à l'Est serait forte et équilibrée pour les principales branches, incluant une composante d'exportation de produits manufacturés vers les pays du Nord du bassin, particulièrement marquée dans le cas d'une forte coopération Nord-Sud, ou davantage basée sur les complémentarités régionales en cas de coopération prépondérante Sud-Sud. Comme pour les scénarios tendanciels, les fortes croissances industrielle, agricole, des transports, etc., induiraient des consommations élevées d'énergie, mais avec deux différences majeures : une plus grande attention serait donnée aux économies d'énergie et une préférence serait marquée pour certaines sources (gaz naturel et énergie solaire). Les relations Nord-Sud et Sud-Sud ainsi que l'amélioration des revenus et des conditions de vie seraient favorables au tourisme, qui connaîtrait son plus fort développement (pouvant atteindre 420 millions de touristes internationaux pour l'ensemble des pays riverains, n'excluant pas des risques de rejet par les populations d'accueil), avec une croissance vigoureuse du tourisme national dans les pays du Sud, pouvant atteindre 250 millions.

En plus de la coopération internationale Nord-Sud ou Sud-Sud, les scénarios alternatifs se distinguent aussi par une approche complètement différente des problèmes d'environnement : internalisation des coûts de protection, prise en compte des facteurs environnementaux dans les mécanismes de prise de décision, moindre centralisation mais meilleure coordination des actions, association des populations aux décisions et à la gestion, etc. Les forêts, les sols et les eaux y sont considérés comme des écosystèmes constituant une seule ressource, protégée et gérée comme telle. De même, le littoral y fait l'objet d'une planification intégrée, associant l'ensemble des acteurs et les trois niveaux de développement : local, régional et national. L'intensification de l'agriculture se faisant avec la recherche de la meilleure efficacité d'utilisation des intrants et en économie d'eau, l'industrialisation recourant aux procédés les moins polluants, l'énergie privilégiant les filières les plus appropriées, le tourisme étant mieux réparti dans le temps et dans l'espace, l'urbanisation s'appuyant sur un réseau équilibré de villes moyennes, l'emploi bénéficiant de la dynamique (favorisée) des petites et moyennes entreprises, les impacts sur les milieux et les ressources seraient alors notablement réduits.

Ces quelques indications sur les images fournies par la prospective du Plan Bleu montrent bien que les scénarios tendanciels sont des scénarios instables, soit par la dégradation croissante des conditions socio-économiques d'un certain nombre de pays (aggravant l'instabilité géopolitique du bassin méditerranéen), soit par la dégradation accélérée des milieux et des ressources naturelles.

Seuls les scénarios « alternatifs » semblent pouvoir concilier croissance économique et sauvegarde de l'environnement à long terme, c'est-à-dire assurer, dans l'esprit de la Conférence de Rio, un véritable *développement durable*, en entendant par là un type de développement qui s'efforce de répondre aux besoins essentiels de l'ensemble des générations actuelles sans compromettre, par ses effets sur l'environnement et les ressources naturelles, la capacité des générations futures de répondre à leurs propres besoins. Plus encore que dans les taux de croissance, les clés de tels scénarios résident en une coopération méditerranéenne plus massive et plus délibérée et en une gestion intégrée et respectueuse des milieux dans les processus du développement. Il y a lieu de souligner que la Conférence Euro-Méditerranéenne tenue à Barcelone en novembre 1995, qui a jeté les bases concrètes d'une coopération économique et financière étendue à la majeure partie de la région, s'inscrit directement dans l'esprit et la logique résultant des scénarios alternatifs du Plan Bleu.

Enfin, il apparaît dans tous les scénarios, y compris dans les scénarios alternatifs, qu'au-delà de l'an 2000, l'accroissement démographique, prévisible dans la plupart des pays du Sud et de l'Est du bassin méditerranéen, même si l'on y observe un ralentissement certain de la fécondité, changera jusqu'à la dimension même des problèmes. Quelque soit le scénario, il faudrait y augmenter impérativement les productions par une plus grande technicité basée sur une meilleure connaissance scientifique et sociologique, en y associant étroitement les populations ; ou continuer à réduire fortement la croissance démographique ; et de préférence agir délibérément dans ces deux directions à la fois.

Le cadre géographique

Les conclusions générales qui viennent d'être esquissées intéressent la totalité du territoire des pays méditerranéens. C'est en effet au niveau national que sont définies les grandes stratégies économiques et que sont édictées les lois et les règlements qui affectent l'évolution démographique ou qui régissent la protection de l'air, de l'eau ou des sols. C'est à ce niveau aussi que sont disponibles, sur une base comparable, les indicateurs et les statistiques économiques et sociales. Les scénarios du Plan Bleu qui viennent d'être évoqués, et qui sont décrits avec plus de détail en annexe, se distinguent donc au premier chef par des configurations démographiques, macro-économiques et politiques au niveau des pays riverains de la Méditerranée pris dans leur totalité. Pour cette raison, ils ne peuvent pas toujours refléter de façon complète la spécificité des régions proprement méditerranéennes de ces pays.

Mais comment définir ces régions ? On voit bien que pour la France ou le Maroc par exemple, les zones que l'on peut qualifier de méditerranéennes ne représentent qu'une portion assez faible du pays. La situation paraît inverse pour des pays comme la Grèce ou la Tunisie. En réalité il n'y a pas de délimitation universellement valable ou universellement acceptée de la « région méditerranéenne ». La mer elle-même est juridiquement définie par la Convention de Barcelone comme s'étendant de Gibraltar aux Dardanelles. Du point de vue géologique, on se trouve en présence d'une zone fortement fragmentée, au carrefour d'un ensemble complexe de plaques tectoniques conduisant à une activité sismique et volcanique importante et à un relief tourmenté tout au long des côtes, sauf sur quelques deltas. Cependant la véritable unité de la région méditerranéenne est plutôt son climat, caractérisé par des étés chauds, marqués d'une période de sécheresse pouvant s'étendre sur plusieurs mois, et des hivers doux à précipitations plus ou moins irrégulières. Ce climat se retrouve dans d'autres parties du monde (Californie, Chili, Afrique du Sud, Australie). Il est associé ici à une flore typique et particulièrement riche. Il présente cependant des contrastes notables entre le Nord et le Sud ou entre l'Est et l'Ouest du bassin et n'offre pas à lui seul de délimitation pratique pour l'ensemble des pays riverains puisqu'on le trouve jusqu'en Irak ou au Portugal.

Dans ces conditions, afin de dégager les évolutions intéressantes plus particulièrement le bassin méditerranéen, on a été amené, pour construire les scénarios du Plan Bleu, à adopter plusieurs niveaux géographiques d'étude selon la nature des problèmes considérés. Outre le niveau national déjà mentionné, ces niveaux d'analyse sont les suivants :

- le bassin hydrologique, constitué par l'ensemble des bassins versants des fleuves se jetant dans la Méditerranée ; ce cadre est particulièrement propice pour tout ce qui touche à l'eau (ressources, pollution, irrigation, érosion, etc.) ; il doit être cependant corrigé pour le Nil, qui n'est pris en compte qu'en aval du barrage d'Assouan.

- la mosaïque des unités administratives des pays riverains qui bordent la côte et pour lesquelles des données statistiques comparables sont disponibles ; cette délimitation assez large souffre d'une certaine hétérogénéité de ces unités

administratives, plus ou moins étendues selon les pays, mais offre le seul cadre pratique permettant d'analyser les questions de population, d'urbanisation, d'utilisation des terres, etc. ; c'est la délimitation que l'on privilégie dans la poursuite des travaux du Plan Bleu et qui correspond à ce que l'on qualifie le plus souvent de « régions côtières méditerranéennes » ;

– enfin la frange littorale elle-même, étroite bande terrestre et maritime plus ou moins marquée mais n'excédant pas quelques kilomètres, où ont tendance à se concentrer toutes les pressions humaines et où se joue, plus que sur la mer elle-même, l'avenir de l'environnement méditerranéen.

Les fascicules du Plan Bleu

En raison même de leur approche systémique globale portant sur l'ensemble des secteurs économiques et des milieux géographiques pour la totalité du bassin méditerranéen, les scénarios du Plan Bleu ne pouvaient guère entrer dans le détail de la problématique et des évolutions relatives à chacun de ces secteurs et chacun de ces milieux ni se concentrer particulièrement sur les seules régions méditerranéennes. Dans le même temps les études nécessaires à la préparation des scénarios ont permis de rassembler des données et des informations nombreuses et d'effectuer des recherches particulières qui n'ont évidemment pu être toutes relatées dans le rapport principal. C'est ainsi que dans ce rapport, la forêt méditerranéenne par exemple, dont le rôle écologique est considérable, ne fait l'objet que d'une analyse prospective demeurant assez générale, ou que les îles méditerranéennes, avec leurs problèmes très particuliers, ne sont mentionnées que de façon succincte. En outre, les travaux systémiques et prospectifs du Plan Bleu se poursuivent, tant au niveau global méditerranéen qu'au niveau de régions côtières particulières. Enfin, depuis 1993, avec l'appui de la Commission européenne, le Plan Bleu fait fonction d'Observatoire méditerranéen pour l'environnement et le développement, enrichissant ainsi considérablement son capital d'information et sa capacité d'analyse et d'évaluation des évolutions que l'on peut observer dans la région.

Il est donc apparu qu'il serait utile, aussi bien pour les spécialistes que pour les décideurs, d'utiliser les données engrangées, l'information établie et l'expérience accumulée par le Plan Bleu et son Observatoire pour creuser plus avant la problématique et l'évolution de chaque secteur et de chaque milieu en se concentrant autant que possible sur les régions méditerranéennes proprement dites. Tel est l'objet des « Fascicules du Plan Bleu ».

Chaque fascicule peut être lu tout à fait indépendamment du rapport principal sur les scénarios, bien qu'il s'appuie sur ces derniers dans sa partie prospective. Ainsi les fascicules constituent-ils autant de « lectures » actualisées du Plan Bleu du point de vue spécialisé de leur sujet. Pour chaque fascicule, on a fait appel à un auteur principal, choisi en fonction de sa compétence et de sa notoriété et ayant le plus souvent été associé à la préparation des scénarios. Le projet de texte préparé par cet auteur principal a été ensuite soumis pour commentaires et critiques à un certain nombre de spécialistes du sujet de différents pays méditerranéens ainsi qu'à des experts des organisations internationales concernées. La

cohérence des analyses avec celles qui résultent des scénarios a également été assurée. Bien que présenté sous la signature de l'auteur principal, chaque fascicule représente donc en fait le fruit d'un travail collectif, s'efforçant à une analyse objective du sujet et des enjeux qu'il comporte. Ainsi chaque fascicule vient-il constituer un complément organique au rapport originel, et l'ensemble des fascicules – qui sont publiés de façon échelonnée – devrait former, avec ce rapport, un legs écrit durable des travaux du Plan Bleu à l'intention des décideurs, des planificateurs, des chercheurs, des enseignants, des étudiants, et de tous ceux que préoccupe l'avenir du bassin méditerranéen.

Le fascicule sur les risques naturels

Comme on l'a souligné plus haut, les scénarios du Plan Bleu ont été fondés sur une analyse prospective du « système méditerranéen », nécessairement réduit à ses composantes essentielles. Parmi celles-ci, les risques naturels inhérents à la région ne pouvaient être retenus comme élément déterminant du système, et ceci d'autant moins que leur caractère intrinsèquement aléatoire ne se prête guère à la méthode prospective qui a été choisie.

Cependant ces risques sont bien réels et ne sauraient être éludés dans l'étude problématique d'ensemble du développement durable de cette région, à laquelle le Plan Bleu est attaché. C'est pourquoi il a paru indispensable de leur consacrer le présent fascicule, d'autant plus nécessaire que le rapport principal sur les scénarios du Plan Bleu ne les prend pas directement en considération.

Il est communément admis que le risque naturel résulte de la combinaison d'un aléa naturel avec la vulnérabilité des personnes et des biens. Quand le risque se matérialise, il peut se transformer en véritable catastrophe si le corps social n'a pas pu ou n'a pas su prendre les mesures de prévention et de protection nécessaires. Les aléas naturels en cause sont le plus souvent d'origine géophysique et échappent quasi totalement à la prévision, sauf à très court terme. Par sa situation au carrefour de plaques tectoniques actives, à la frontière entre des masses d'air antagonistes, soumises à un climat orienté vers l'aridité, habitée par ailleurs sur ses rives par une population très nombreuse avec d'importantes concentrations urbaines, la région méditerranéenne est malheureusement assez fortement sujette aux risques naturels. Aussi n'est-il pas étonnant de constater qu'elle a subi historiquement, et continuera sans doute à subir, nombre de catastrophes naturelles dont les effets douloureux et onéreux ne pourront être limités que par des mesures efficaces de prévention et de protection, jusqu'à ce jour insuffisantes dans la majorité des pays riverains.

Le risque naturel ne doit évidemment pas être confondu avec le risque généré par l'activité humaine, en raison des situations qu'elle a créées ou des substances qu'elle a produites. Il s'agit là de risques technologiques, que l'on rencontre dans la construction, la chimie, la microbiologie, l'énergie, les transports, etc., qui affectent la santé humaine ou l'environnement, qui se traduisent par des pollutions ou des radiations insidieuses ou par des explosions et des accidents brutaux. Ces risques technologiques ont pris aujourd'hui la place prépondérante dans les préoccupations quotidiennes et font l'objet de réglementations tendant à les

réduire. Beaucoup d'organismes sur l'évaluation ou la gestion de tels risques ont été créés, mais ils ne s'occupent généralement pas des risques naturels, bien qu'un parallélisme certain marque les mesures de prévention ou de gestion entre les uns et les autres.

A vrai dire, la notion de risque naturel est assez ambiguë, dans la mesure où, si l'aléa est bien d'origine naturelle, le risque lui-même est généralement aggravé par l'action de l'homme, soit parce que celui-ci ne prend pas les mesures élémentaires de précaution face à un risque évident – par exemple la construction d'immeubles en zone inondable ou sur une faille sismique –, soit parce que les actions humaines sont orientées de telle sorte qu'elles viennent accroître l'aléa naturel – par exemple, le déboisement qui va favoriser le ruissellement et l'érosion ou aggraver une sécheresse –. Dans de tels cas, on pourrait parler de risques anthropiques, dont la responsabilité ne devrait pas être attribuée à la seule nature.

Le présent fascicule ne manquera pas d'effectuer ce lien entre les forces de la nature et les actions humaines malavisées. Selon l'usage, il traitera des sujets clairement considérés comme risques naturels, notamment dans la terminologie des Nations Unies, ce qui pour la Méditerranée recouvre essentiellement les séismes, les éruptions volcaniques, les inondations, les glissements de terrain, les sécheresses exceptionnelles et les feux de forêt.

Inversement, on ne traitera donc pas ici de certains risques biologiques pouvant affecter la santé des humains ou des espèces vivantes animales et végétales, qui ressortissent à une problématique bien différente. Il n'en demeure pas moins que certaines maladies endémiques, ou certaines épidémies, constituent bien aussi des risques « naturels » dont les effets en Méditerranée peuvent être de grande importance économique et sociale. Il suffit de citer par exemple la schistosomiase (ou bilharziose) liée à l'irrigation, ou le trachome lié aux poussières, sans parler du paludisme ou de la tuberculose toujours menaçants.

Il existe aussi d'autres risques d'origine naturelle, de caractère insidieux parce qu'ils ne manifestent leurs effets qu'avec lenteur, et dont on ne découvre que trop tard les conséquences néfastes. L'exemple le plus frappant est celui de l'érosion. Il s'agit principalement de l'érosion continentale, qui entraîne vers la mer des volumes de terre énormes et affecte des surfaces considérables de sols cultivables. Ce processus est d'une gravité majeure en Méditerranée, où l'érosion peut atteindre, voire dépasser dans certains points au Sud et à l'Est du bassin, un taux de 200 tonnes par hectare et par an. Mais c'est au départ un phénomène naturel qui se trouve ici fortement aggravé par l'action de l'homme et de ses animaux tout au long d'une histoire marquée par le déboisement, le surpâturage, l'abandon des terrasses, la construction de routes et d'habitations sur les pentes. Il s'agit aussi de l'érosion côtière, particulièrement intense dans certains points comme le delta égyptien où elle est aggravée par l'arrêt des apports de sédiments dû aux barrages sur le Nil, ou de l'érosion éolienne résultant des vents de sable venus du Sahara. Le terme d'érosion marque donc généralement un phénomène naturel très lent plus ou moins aggravé par l'homme : c'est pourquoi on l'applique par exemple à l'érosion de la diversité biologique, problème lui aussi très important en Méditerranée.

Ces risques naturels insidieux et rampants ne sont pas développés dans ce fascicule car ils relèvent d'une problématique très différente, liée à celle de l'agri-

culture et de l'urbanisation dans les régions côtières, qui feront l'objet d'un autre fascicule. Cependant le risque de sécheresse, qui a lui aussi un caractère insidieux par rapport aux risques « brutaux », sera traité en détail car il se produit le plus souvent sur une période relativement courte – une saison ou quelques saisons – et il est lié à une évolution du climat dont il importe de mesurer les conséquences dans toute approche prospective de l'environnement méditerranéen.

Au niveau mondial, les pertes économiques résultant de catastrophes naturelles se sont considérablement accrues au cours des dernières années. On estime qu'elles atteindront vers l'an 2000 un montant annuel de quelque 150 milliards de dollars, dont le tiers environ sera couvert par des assurances. C'est dire l'importance du problème du simple point de vue économique, juridique et financière, indépendamment des souffrances et des pertes humaines qu'il engendre, ainsi que des impacts néfastes sur l'environnement qui peuvent en résulter.

Le fascicule présente en premier lieu la dimension historique et sociale du risque naturel en Méditerranée et esquisse les futurs défis auxquels il y aura lieu de faire face. La question de la perception du risque par la population y est abordée. Il s'agit là d'un domaine où se conjuguent des facteurs très subtils, fondés sur la tradition, la culture, la religion, l'éducation, l'expérience, etc. On peut certes avancer que les populations les plus riches sont plus sensibles au risque que les plus démunies, et par conséquent ne l'acceptent pas avec le même fatalisme. Mais cette question de la différence d'acceptabilité du risque entre individus, entre groupes sociaux et entre pays mériterait une étude approfondie pour la région méditerranéenne qui n'est évidemment pas l'objet du présent travail.

En revanche, on insiste sur le fait trop souvent négligé que les parades aux différents risques ne sauraient reposer sur de seules mesures techniques, comme par exemple la construction d'ouvrages toujours plus dispendieux, mais qu'elles reposent plutôt sur une combinaison d'actions préventives bien coordonnées parmi lesquelles la sensibilisation et la participation des populations joue un rôle capital. Dans cet esprit, la problématique des divers risques naturels en Méditerranée est traitée en détail, avec des exemples appropriés, de façon à pouvoir en déduire des stratégies de mobilisation des ressources humaines, de prévention et de techniques de lutte, ainsi que de gestion des crises. Le fascicule se termine sur un certain nombre d'orientations pour l'action, de « clés pour le futur » qui portent sur l'anticipation des menaces et des parades, sur la recherche appliquée ainsi que la coopération internationale en Méditerranée en faveur de la prévention des différents risques et de la protection des personnes et des biens.

Comme les autres fascicules du Plan Bleu, celui-ci devrait inciter tous ceux que concernent les risques naturels en Méditerranée à mieux mesurer les enjeux en cause et à prêter une attention accrue aux mesures de prévention qui s'imposent, notamment par un zonage bien établi et effectivement respecté des endroits dangereux. Ceci est particulièrement important dans l'ensemble des régions littorales du bassin qui sont partout de plus en plus peuplées et où viennent se concentrer les diverses activités économiques, y compris le tourisme. Le fascicule s'adresse au premier chef aux décideurs, aux planificateurs et aux aménageurs du territoire, aux urbanistes et aux architectes, ainsi qu'aux représentants des pouvoirs locaux. Les conclusions et les orientations présentées pourront ne pas leur

paraître fondamentalement nouvelles ou suffisamment détaillées, mais elles s'inscrivent dans la démarche du Plan Bleu en faveur d'une approche intersectorielle et systémique des problèmes qui se posent aux méditerranéens. Enfin ce fascicule s'adresse également aux enseignants et au public intéressé qui devraient pouvoir y prendre mieux conscience des risques naturels, trop souvent oubliés après que se soient estompés les effets des catastrophes antérieures, et de l'importance à accorder aux mesures individuelles et collectives de prévention, de précaution et de protection.

Remerciements

C'est à M. **Adelin Villevieille**, ancien directeur de la Délégation aux risques majeurs de France, qu'a été confiée la charge de préparer le présent fascicule.

Nul mieux que lui ne pouvait être choisi pour mener à bien cette tâche complexe, en raison de son expérience de chercheur, d'administrateur et de coordonnateur qui a porté sur l'ensemble des risques d'origine géophysique, et en particulier sur les phénomènes météorologiques, sur les inondations catastrophiques et sur les séismes. Il a en effet présidé la Commission des sciences de l'atmosphère de l'Organisation Météorologique Mondiale, pris une part active aux travaux sur les risques sismiques en Méditerranée, suivi les débats internationaux sur tous ces sujets, y compris ceux relatifs au changement climatique, et il coordonne actuellement les initiatives de l'Union des Associations Techniques Internationales en faveur de la Décennie Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles conduite par les Nations Unies.

Pour la préparation de ce fascicule, il a notamment consulté ou bénéficié de contributions et de remarques de MM. **Driss Bensari** (Maroc), **Juan Pedro Lahore Pedelaborde** (Espagne), **Jean Margat** (France), **Vincenzo Petrini et Armando Mauro** (Italie), **Ljubomir Jeftic** (Croatie), **Jean Sbokos** (Grèce), **Otkay Ergünay** (Turquie), **Elie Absi** (Liban), **Rashad Kebeasy** (Égypte), **Tahar Chaïeb et Mohamed Skouri** (Tunisie), **Badaoui Rouhban** (Unesco), **Chedi Fezzani** (Observatoire du Sahara et du Sahel) ainsi que **Bernard Glass** (Plan Bleu). La mise en forme du manuscrit a été réalisée par Mme **Nadia Medjahed**. Les illustrations ont été réalisées au Plan Bleu par M. **Abdelaziz Bourahla**.

Le Centre d'Activités Régionales du Plan Bleu pour la Méditerranée remercie chaleureusement tous ceux qui ont contribué à ce travail.

Sophia Antipolis, septembre 1997

Michel Batisse

Président

Centre d'Activités Régionales du Plan Bleu
pour la Méditerranée

Introduction

Les relations de l'Homme avec la Nature apparaissent de plus en plus contrastées.

Il y a la Nature sereine, neutre ou bienveillante, que l'Homme agresse avec ses pollutions. Il y a, en symétrie, la Nature temporairement agressive, par crises brutales, séismes, éruptions volcaniques, crues torrentielles ou glissements de terrain ; ou de manière plus insidieuse, mais non moins implacable, par l'occurrence de sécheresses avec les pénuries d'eau et les dégradations des sols qui en découlent.

Les pays méditerranéens partagent cette communauté de risques naturels, qui trouvent leur unité profonde dans les grands chocs tectoniques et climatiques, opposant les masses continentales d'Afrique et d'Europe-Asie.

A cette communauté de risques ne correspond peut-être pas, à ce jour, en Méditerranée, une véritable culture commune du risque, c'est-à-dire, une perception collective des problèmes posés, ainsi que le concept d'une réponse collective à ces problèmes par les voies et moyens les plus appropriés.

L'analyse de ces problèmes et de ces voies et moyens est l'objet du présent fascicule qui ne saurait, au vu de l'ampleur du sujet, prétendre à l'exhaustivité, mais voudrait proposer quelques axes de réflexion, pour répondre à la préoccupation du Plan Bleu : évaluer les perspectives couplées de l'environnement et du développement de cette région, dans le moyen terme (2025).

La catastrophe naturelle est une blessure infligée au corps social : elle en amoindrit les forces vives, qui la ressentent parfois comme un signe négatif du Destin, incitant à un pessimisme réducteur. Elle a, très directement, des impacts que l'on identifie :

(i) Par le nombre des morts, et le nombre des blessés, dont une fraction restera invalide : dans une catastrophe sismique majeure comme celle de Messine, en Italie en 1908, on a compté 83 000 morts. Une crue torrentielle, comme celle de l'Ourika, au Maroc, faisait en 1995, plus de 200 morts.

(ii) Par le nombre des habitations détruites ou non réhabilitables dans le court terme : dans la catastrophe sismique d'El Asnam, en Algérie, en 1954, on dénombrait l'effondrement de 32 000 habitations, et 300 000 sans abri dans celle de 1980. Les dommages à l'habitat sont également sensibles dans les cas d'inondation, notamment sous forme torrentielle, comme ceci se produisit, récemment encore, dans les Alpes (Sud-est français, et Piémont italien) et dans les Pyrénées.

(iii) Par le nombre et l'importance des installations à caractère industriel et commercial, qui se trouveront endommagées, de façon définitive ou de façon pas-

sagère, en cas de risques brutaux (séismes et inondations). C'est l'outil de travail, c'est-à-dire de production, qui se trouve atteint. Les conséquences en sont sensibles du point de vue de l'emploi local, corrélé avec l'activité économique et son développement espéré ou planifié.

(iv) Par l'importance des dommages agricoles et forestiers, dans le cas de l'effet sécheresse. La sécheresse saisonnière « simple » réduit notamment la production céréalière et fourragère et donc le revenu paysan, sur une année entière. Elle favorise aussi le feu de forêt, prélude fréquent à la dégradation et à la disparition du patrimoine foncier. La sécheresse pluriannuelle, « aggravée » par la tendance naturelle du climat et l'action insouciant de l'homme, se manifeste durablement sur un groupe d'années et peut menacer la survie d'une population rurale entière comme on l'a vu au Sahel africain, avec quelques 250 000 morts. La tension sur les ressources en eau qui en résulte affecte également l'alimentation des zones urbaines et l'activité industrielle.

(v) Par les effets biologiques de la pollution engendrée dans les suites de la catastrophe. Le désordre ambiant facilite les infections microbiennes et bactériennes qui se propagent notamment dans les eaux polluées. La maladie affecte alors plus facilement une population traumatisée, placée dans des conditions de vie et d'hygiène précaires : le choléra et les maladies diarrhéiques peuvent épisodiquement refaire apparition dans un Bassin où les pandémies de cette nature firent de grands ravages aux siècles médiévaux, et jusqu'à l'aube de l'ère industrielle.

(vi) Par la destruction ou la dégradation du patrimoine culturel. On en a l'exemple fort avec l'inondation de Florence en 1966. Mais on ne saurait oublier les cas où la pollution d'origine anthropique se mêle à l'élément naturel pour des agressions répétées du patrimoine monumental méditerranéen.

Le risque naturel, auquel ce fascicule du Plan Bleu est consacré, présente, comme Janus, un double visage, avec d'un côté l'impact physique, qu'il est convenu de nommer « l'aléa », et de l'autre, le fait humain, qui est contenu dans la notion générale de « vulnérabilité ». De la connaissance de ces deux visages peuvent être évalués les risques et définies des stratégies de défense.

L'aléa physique

Comme l'histoire le démontre, le monde méditerranéen est depuis toujours soumis à des aléas physiques particulièrement violents lorsqu'il s'agit, soit du risque sismique, omniprésent de l'Ouest à l'Est du Bassin, y compris le cas particulier des volcans de mer Tyrrhénienne, tous venus du sous-sol profond ; soit des inondations torrentielles, nées des divagations du système hydro-météorologique superficiel, avec les glissements de terrain qui souvent les accompagnent. Aléa physique, plus « rampant », mais non moins redoutable, les sécheresses ont, de tout temps, affecté la région, notamment au Maghreb et au Machrek, et marquent une extension accrue jusqu'à l'Europe du Sud.

On montrera dans le chapitre II que ces triples aléas sont exactement liés à la situation géographique du Bassin méditerranéen.

Placée à l'articulation entre trois continents, l'Afrique, l'Europe et l'Asie, la Méditerranée subit les conséquences de leurs antagonismes. Sur une majeure par-

tie du Bassin, l'affrontement des plaques tectoniques associées détermine de nombreux tremblements de terre, par effets mécaniques de soulèvement général et « craquements » plus localisés, avec au niveau de l'Italie, l'enfoncement plus récent et vigoureux d'un coin géotectonique, révélé par le plissement des monts Apennins et les volcans de mer Tyrrhénienne. A l'Est, c'est le déchirement entre plaque africaine et plaque arabe, prolongeant jusqu'à la Turquie le grand fossé tectonique du « rift » africain qui explique les graves séismes des rivages orientaux de la Méditerranée.

Cette unité de la géophysique interne se double d'une unité de la géophysique externe, au sens du mouvement général des masses d'air, et des effets qu'il détermine – excès pluviométriques ou sécheresses accentuées.

Là encore, c'est un contraste fort, qui détermine ces alternances : fondamentalement, l'air tropical sec d'Afrique saharienne vient à la rencontre de deux masses antagonistes : l'une, particulièrement dynamique, d'air humide issu de l'Atlantique ; l'autre, moins mobile mais puissante, « en réserve » sur l'Europe continentale et l'Asie proche. L'accumulation de l'humidité atlantique au sein des perturbations, que la Méditerranée, véritable « détonateur thermodynamique » régénère, est à l'origine des pluies diluviennes, observées surtout sur l'Ouest du Bassin. A l'opposé, l'avancée, par épisodes ou lentement progressive, des masses d'air saharien sec, signifie une importante réduction de la pluviométrie qui se manifestera sur de larges espaces continentaux, avec pour conséquence, l'aridification, renforcée par l'action humaine, jusqu'à son terme : la désertification.

Cette double unité géophysique – interne et externe – se traduit en même temps, par un « effet d'échelle ». Il y a clairement coexistence de plusieurs échelles dimensionnelles, la plus grande que l'on pourrait appeler « macroscopique » à la dimension du Bassin, point de rencontre de trois continents ; et la dimension inférieure « mésoscopique » qui développe ses instabilités de façon en quelque manière indépendante. Ainsi convient-il d'être particulièrement prudent dans l'interprétation – et l'extrapolation – des faits physiques que l'on observe en Méditerranée : c'est l'une des grandes difficultés de leur prévision dans cette zone.

La vulnérabilité humaine

Face à ces grands périls, la communauté humaine en Méditerranée apparaît vulnérable pour deux raisons très distinctes.

En site urbain, par suite de la concentration des populations sur les régions côtières, plus facilement accessibles pour le commerce, et donc plus commodes pour le développement industriel, dans une série de grandes villes, dont l'installation très ancienne remonte aux premiers courants d'échange. La géométrie de ces villes, souvent enserrées dans un contexte montagneux étroit, et le type de construction de l'habitat ancien, fragile dans ses matériaux et dans ses chaînages, constituent, avec la migration massive des populations paysannes vers les villes, des facteurs de vulnérabilité évidente.

Mais c'est aussi dans le monde rural que cette vulnérabilité se manifeste, cette fois par suite de l'effet de sécheresses récurrentes et de l'aridification. La

ressource première des populations rurales méditerranéennes vient à la fois des productions vivrières et, dans une moindre mesure, de l'activité pastorale. Toutes deux dépendent, au premier chef, de la ressource en eau, qui doit être disponible en quantité suffisante et en temps voulu. Or, la réduction de la pluviométrie a non seulement une traduction immédiate à l'échelle de la saison, mais influe de plus en plus durablement, à l'échelle intersaisonnière, sur les réserves des barrages et sur la recharge des nappes aquifères. C'est un danger récurrent, dont on peut craindre les conséquences si les tendances climatiques jusqu'ici observées se maintiennent, ou pis encore, s'accroissent par l'action humaine (effet de serre). En outre, la vulnérabilité des zones rurales est souvent accrue par l'isolement des personnes qui rend difficile l'arrivée des secours en cas de catastrophe naturelle.

Face à ces périls, la communauté méditerranéenne est-elle sans recours ? De quelles parades scientifiques, techniques et opérationnelles, dispose-t-elle ? Comment les mettre efficacement en œuvre ? Ces problèmes seront traités dans le chapitre III, du point de vue des stratégies, stratégies déjà partiellement mises en œuvre, mais toujours optimisables à l'échéance de l'horizon 2025 ; et stratégies éventuellement réorientées, et certainement accélérées, pour faire face, dès la première moitié du siècle prochain, à la conjonction aggravée de ces deux facteurs clés en Méditerranée : la concentration urbaine et le déficit en eau.

Stratégies

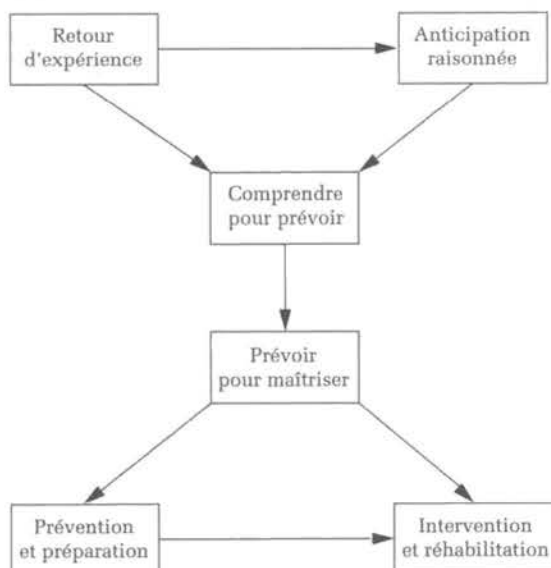
Dans une conception de « défense civile » intégrant tout l'arsenal des moyens, les stratégies de la lutte contre les risques, s'appuieront nécessairement sur les deux termes du diptyque suivant :

- comprendre pour prévoir
- prévoir pour maîtriser

- *Comprendre*. C'est l'exigence fondamentale. On ne saurait affronter une force antagoniste sans avoir bien identifié sa nature, son origine, ses mécanismes d'évolution. Ceci vaut pour l'aléa physique ; mais on considère comme également essentielle la connaissance du corps social et de ses réactions, face à l'événement qui menace son équilibre.

- *Prévoir*. A l'image des sports martiaux, anticiper sur les mouvements adverses procure un avantage qui peut être décisif, si l'on sait adopter en temps utile les parades appropriées. Il faut donc apprendre à prévoir. La prévisibilité doit s'entendre à double sens : il peut s'agir d'une manifestation récurrente dont on évaluera le « temps de retour » en considération des événements passés, par des méthodes statistiques ; mais aussi, et de plus en plus, d'une prévision « déterministe » et convenablement précise dans l'espace et le temps.

- *Maîtriser*. Faute de pouvoir effectivement juguler le risque à sa source (ce ne pourrait être le cas que pour certains « risques d'eau »), on se donne pour objectif de le contenir, et, littéralement, de le réduire, dans l'importance de ses effets directs ou indirects. C'est l'affaire d'infrastructures et d'organisations fonctionnelles, dont il faudra optimiser les articulations. La préparation prend alors un caractère vital.

Diagramme 1*Les axes stratégiques d'action*

On distinguera ici la préparation générale, qui fera appel autant à l'éducation et à l'information préventives qu'à la mise en place des systèmes de surveillance et de communication, et la préparation « rapprochée » pour déclencher les « plans d'urgence », sur avertissement précoce.

Sur ces lignes stratégiques générales, on construira des « tactiques de gain » qui concerneront, en séquence, la mobilisation des ressources humaines, et la mise à disposition des « décideurs » et « opérateurs » de terrain, des outils techniques susceptibles de multiplier leur efficacité.

Au chapitre des ressources humaines, dans le cadre d'une planification générale de l'organisation sociale contre les risques, on privilégiera d'abord, l'éducation préventive, puis l'information préventive par recyclage orienté, enfin la formation de spécialistes (secouristes autant que techniciens). De manière complémentaire, la « communication » aura à la fois, un rôle d'atténuation de l'impact socio-psychologique subi par la population entière, en même temps qu'un rôle de transmission d'informations et directives, de nature à aider le travail des « acteurs responsables », en temps réel, sur le terrain.

Au chapitre des outils techniques, on différenciera les trois fonctions de prévention et préparation (rapprochée) ; de surveillance, prévision et alerte ; d'intervention et réhabilitation (en donnant à ce terme son sens plein de retour à la normalité).

La première de ces fonctions, que l'on baptise « Barrages contre les risques », suggère l'image d'une défense passive, qui sera renforcée au niveau des infrastructures générales et urbaines – s'agissant notamment des voies d'accès, y compris les installations portuaires et aéroportuaires, et des réseaux d'alimentation en eau et énergie (gaz et électricité).

Pour la deuxième fonction, on a adopté le titre de « Sentinelle intelligente », car elle complète les missions traditionnelles de veille de la sentinelle (ou de la vigie, en termes marins), en y ajoutant une mission de prévision. Il est entendu, à cet égard, que cette prévision, en termes numériques, est encore l'apanage de la discipline météorologique, notamment lorsqu'elle traite (avec difficulté) de la prévision des pluies torrentielles, à l'échéance prévisionnelle quasi-immédiate, dite « d'échéance zéro ».

Pour la troisième fonction, les procédures d'urgence priment d'abord, avec les secours immédiats de la médecine et des sauveteurs spécialisés (corps des sapeurs-pompiers), l'évacuation des blessés graves et des populations encore menacées, et l'aide à la survie en matière de fourniture de vêtements et de vivres, et relogement, même précaire. Plus tard, on s'attachera à la reconstruction de la cité.

De telles prestations sont, dès maintenant, pratiquées par les instances responsables de la sécurité ; on peut prévoir divers renforcements à l'horizon 2 000 ; on insistera alors sur la nécessité d'une décentralisation dans la décision et l'emploi des moyens. L'organisation des pouvoirs publics, à échelon local/communal, à l'échelon régional/provincial et à l'échelon national, devra être prévue dans ce sens, s'appuyant, autant que de besoin, sur les aménagements juridiques nécessaires.

À l'échéance des premières décennies du XXI^e siècle, les perspectives semblent devoir aller dans le sens d'une aggravation du risque, pour des raisons qui tiennent, d'une part, à une « congestion » des villes, tout particulièrement dans les régions côtières, d'autre part à l'évolution du climat par suite de l'effet de serre. On estime effectivement que cette évolution se traduira par une accentuation de la sécheresse dans les zones où l'aridité sévit déjà, même si, au moins localement, des perturbations pluvieuses viennent compenser ses effets dans certaines zones proches des côtes (plusieurs « singularités » de ce type peuvent être espérées en Méditerranée). La sécheresse a des conséquences directes tant pour la vie rurale que pour l'approvisionnement en eau de la ville ; et des conséquences induites sur l'aggravation des migrations de population, vers les villes d'abord, suivant un processus déjà entamé ; puis de pays en pays.

Face à ce futur inquiétant pour les différents risques en Méditerranée, et outre les mesures de prévention et de préparation qui devront être fortement développées par les pays riverains, deux voies de recours apparaissent prometteuses qui seront évoquées dans le chapitre IV.

La première tient aux possibilités de la recherche appliquée, conçue en synergie, scientifique, technologique, opérationnelle. On évoquera ainsi diverses « pistes », qui ne relèvent pas de l'utopie, dans la mesure où elles s'inscrivent dans le prolongement d'études actuelles encore mal défrichées – parfois faute de ressources en matériels et en chercheurs.

La deuxième voie de recours se dessine dans une coopération internationale de plus en plus étroite. On voit, en effet, que la dispersion des moyens nuit à l'efficacité de la prévention et de l'intervention. Établir une coordination au sens propre plus organique, pour le rassemblement et l'utilisation de ces moyens (les gros calculateurs pour la prévision et la gestion, par exemple, sont très coûteux) signifiera, à la fois, une source d'économies et une même polarisation de la décision commune, bénéficiant à tous les pays riverains.

Cette stratégie générale trouvera sa concrétisation dans les « réseaux », qui rassemblent les matériels (de surveillance, de télécommunications et d'informatique, notamment) et les compétences de divers ordres nécessaires pour bien gérer les crises attendues. On voit ainsi la possibilité d'associer, avec des avantages évidents sous le rapport des coûts, les réseaux « risques naturels » avec les réseaux « risques anthropiques », qui partagent les mêmes besoins en matière de surveillance et d'alerte, puis d'intervention de secours.

D'ores et déjà, un effort international s'est engagé après la première et bénéfique mise en garde de la Conférence des Nations Unies CNUED de Rio de Janeiro. Les prolongements apparaissent dans la Décennie internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles (DIPCN) de l'ONU, et les efforts des grandes Agences de l'ONU, « généralistes » (PNUD, PNUE, Unesco) ou « thématiques » (FAO, HABITAT, OMM, OMS) aussi bien que des ONG à vocation mondiale (Croix Rouge et Croissant Rouge, pour l'action caritative ; CIUS/ICSU pour l'action scientifique ; UATI-WFEO pour l'action d'ingénierie).

Ces efforts se traduisent déjà dans l'espace méditerranéen par des programmes concrets pour la réduction des risques. On en prendra pour exemple l'initiative RELEMR (Reducing Earthquakes Losses in the Eastern Mediterranean Region) qui s'adresse spécifiquement à la protection contre les risques sismiques en Méditerranée Orientale ; ou, dans un cadre plus général, les programmes ECHO et MEDA de l'Union Européenne ; et le programme de recherche MEDIAS, émanation de « Global Change ».

La conjonction de tels programmes et du groupement progressif des « réseaux » correspondants, pourrait conduire au développement d'un mécanisme méditerranéen d'échange et de coopération destiné à aider une gestion plus « intégrée » du risque pour l'ensemble des pays du pourtour de la Méditerranée.

Glossaire succinct des termes utilisés

Aléa : événement géophysique dangereux, de caractère aléatoire dans sa répartition dans le temps et sa localisation précise dans l'espace.

Catastrophe : événement aléatoire affectant un groupe de population important ; ses graves conséquences d'ordre humain et environnemental.

On parle ici des catastrophes naturelles à survenance brutale (et généralement sur une aire limitée) pour les catastrophes d'origine tectonique (séismes et volcans) et d'origine hydrométéorologique (inondations ; crues ; glissements de terrain) ; et de catastrophes d'origine climatique, à progression beaucoup plus lente, mais d'extension géographique beaucoup plus large (sécheresse, érosion).

Crise : situation résultant de l'excessive montée en puissance de l'aléa considéré. On parle effectivement de la « montée » de crise pour désigner la progression du phénomène dangereux et la probabilité de le voir culminer à échéance plus ou moins proche.

Intervention : ensemble d'opérations menées par les Pouvoirs Publics pour circonscrire ou réduire les conséquences immédiates de la catastrophe survenue.

Prévention : ensemble de mesures de toutes natures prises suffisamment à l'avance pour limiter les effets de l'aléa prévisible.

Réhabilitation : ce terme hybride a, du moins, le mérite de faire image pour désigner le retour à la normalité dans la vie de la cité et des citoyens, après une crise.

Retour d'expérience : utilisation des données recueillies à l'occasion des catastrophes passées.

Risque et vulnérabilité : les deux termes sont étroitement liés. Le risque est en termes mathématiques le produit de « l'aléa » (probabilité d'occurrence d'un événement dangereux) et de la « vulnérabilité » (estimation des dommages susceptibles d'être ainsi créés). En langage courant, on assimilera souvent les termes « risque » et « catastrophe », qui se rapportent à un type d'événement exceptionnel, en circonstances extrêmes.

On verra, à plusieurs reprises, l'intérêt de considérer le couple « risque naturel » ici traité, et le « risque anthropique », qui trouve son origine dans l'action insouciante ou irresponsable de l'homme.

Présence du risque en Méditerranée

1. Une histoire des risques méditerranéens

Depuis l'aube des temps, la mythologie, la chronique et l'histoire nous apprennent que le risque naturel a toujours été présent en Méditerranée. Pour premier témoignage, il faut bien remonter au Déluge, l'événement, mythe ou réalité au moins partielle, qui s'est inscrit si fortement dans la mémoire collective des civilisations qu'il est devenu simple nom commun.

Interprétant le livre de la Genèse, on peut situer le Déluge aux bords de la Méditerranée orientale, dans ce Proche Orient qui mène au Mont Ararat (Arménie) considéré par certains comme le débarcadère final de l'Arche (qui était, plus probablement, un radeau) de Noé. « *La pluie tomba pendant quarante jours et quarante nuits* » : cette présentation des « faits » surprend, car la météorologie confirme que les perturbations pluviogènes circulent dans un grand mouvement planétaire, et ne s'attardent donc pas excessivement sur une zone donnée. Cependant, on a pu voir, à l'époque actuelle, des blocages de cette circulation avec grands effets climatiques (sécheresse de 1976 en Europe de l'Ouest) ; et aussi des épisodes singuliers de précipitations au cœur même des zones désertiques, comme dans l'hiver de 1988, l'inondation de Tamanrasset, au cœur du Sahara algérien.

Sans revenir sur les circonstances de ce risque d'eau assez improbable, on notera du moins quelques enseignements bien réels de la catastrophe du Déluge : l'utilité d'une bonne prévision météorologique-hydrologique à moyenne échéance, et la nécessité de protéger la diversité biologique, thème aujourd'hui fondamental.

D'autres enseignements appréciables pourraient être tirés des récits et légendes mythologiques ; ainsi, au lendemain de la prise de Troie, le grand voyage d'Ulysse, un moment menacé par une tempête aux vagues énormes (bien caracté-

ristique des tempêtes méditerranéennes) et sauvé par la nymphe Ino, qui apaisa les flots en répandant son voile à la surface. Faut-il y voir l'indication que, dès l'Antiquité, les marins avaient appris à « filer de l'huile » pour réduire la force des éléments déchaînés ?

Arrivant aux temps protohistoriques, la catastrophe de l'île de Santorin, initialement datée d'environ 1 500 ans avant notre ère (mais qu'il faut sans doute « reculer » sensiblement, suivant les méthodes de datation les plus récentes) est, de façon encore très identifiable, liée à une formidable éruption volcanique, « l'une des plus puissantes de tous les temps ». Cette éruption engendrait une vague marine gigantesque (que les scientifiques appellent du terme japonais « tsunami ») qui dévastait l'île de Crète placée en vis-à-vis, signant ainsi la fin de la très ancienne et très brillante civilisation minoéenne. Privée de sa flotte, amoindrie dans ses forces vives, décapitée par la destruction de sa capitale, la civilisation minoéenne cédait alors le pas devant l'invasion des Mycéniens venant du continent : le risque naturel influençait ainsi le cours de l'Histoire ; le cas n'est pas unique, en Méditerranée et dans le monde.

L'histoire des catastrophes méditerranéennes met en exergue deux événements qui ont marqué la conscience collective. En l'an 79, le Vésuve entra en éruption brutale, expulsant sur la contrée avoisinante ses pierres, ses laves et un énorme nuage de cendres. Pline le Jeune décrit le sommet du Vésuve, brillant, couronné d'une grande colonne de feu., « comme un pin gigantesque. Un tremblement de terre agitait les maisons, qui semblaient arrachées de leurs fondations. La pluie de cendres obscurcissait totalement le Soleil... » Il s'agissait, en fait, d'une récédive : en l'an 62, un séisme avait déjà provoqué d'importants dégâts à Pompéï. La ville avait été reconstruite sous le signe du luxe et de la facilité de vivre, au siècle d'Auguste et Trajan, apogée de la puissance romaine. C'est alors que survint cet événement fatal qui figeait dans la mort, des travailleurs, des passants, des familles – avec, a-t-il semblé, la valeur symbolique d'un avertissement du déclin de l'Empire et de ses grands malheurs à venir.

Le séisme de Lisbonne de 1755 ne peut, stricto sensu, être qualifié de méditerranéen ; mais la géotectonique moderne confirme que sa cause première est liée à l'affrontement des plaques tectoniques Afrique-Europe, qui se prolonge vers l'Ouest, selon un clivage qui mène de la Méditerranée Orientale à la péninsule ibérique. La secousse causait la mort de 100 000 personnes environ. On lui attribue aujourd'hui l'intensité 8 à 9 sur l'échelle de Richter. L'ébranlement du sous-sol se propageait très au-delà du Portugal, jusqu'au Maroc, où la Tour Hassan de Rabat se trouvait tronquée à mi-hauteur ; un soulèvement marin traversait l'Atlantique et atteignait la mer Caraïbe, avec une vague dévastatrice de plus de dix mètres.

De cette époque date la réaction de divers « esprits éclairés » contre une certaine soumission à des effets naturels réputés inexorables. On se souviendra des échanges d'idées de Voltaire et de Rousseau sur le sujet. Ce dernier, renvoyant dos à dos optimistes et pessimistes, et faisant des hommes et de la société les seuls (véritables) responsables, fut le premier à revendiquer une « histoire humaine » de la catastrophe.

On voit là, à partir du milieu du 18^e siècle, dans les prémices de l'ère industrielle, l'amorce d'un mouvement de pensée qui se développera aux deux siècles

suivants, par avancées scientifiques et techniques successives, conduisant aux conceptions rigoureuses d'aujourd'hui pour une meilleure « maîtrise » des catastrophes, comme on les décrira plus loin.

*
* * *

Les risques naturels, dont les effets sont toujours redoutables pour les éléments matériels du patrimoine humain, peuvent aussi affecter gravement – et irréremédiablement – le patrimoine culturel, au détriment cette fois de l'humanité toute entière.

On garde à l'esprit la catastrophe de Florence, en 1966, dévastée par la crue de l'Arno, et celle concomitante de Venise, submergée par une marée-tempête exceptionnelle. Les dommages causés dans la région d'Assise par le tout récent séisme de septembre 1997 rappellent la permanence de ce risque auquel le patrimoine architectural méditerranéen a payé un très lourd tribut au cours des âges.

De façon beaucoup plus lente et insidieuse, la dégradation de nombreux sites, comportant de prestigieux monuments « de plein air », est à mettre au compte des effets conjugués de l'élément naturel (notamment, le vent et la pluie) et des actions humaines, parfois inconsidérées. La pollution apparaît ainsi comme facteur important de cet appauvrissement culturel. A Athènes, les pollutions provoquées en bonne partie par la circulation automobile, se rassemblent dans le « nephos » chape nuageuse qui littéralement tombe sur la ville, aux jours de grandes chaleurs. En Égypte, les vents de sable (khamsin) provoquent le délitage superficiel des Pyramides et des monuments du Caire dont les pluies diluviennes endommagent parfois les structures intérieures.

Catastrophes à Florence et à Venise

La catastrophe de Florence se produisit le 4 novembre 1966. Après un épisode de forte pluie continue sur plusieurs heures, caractéristique des situations météorologiques de l'automne dans le Nord du Bassin occidental, mais en ce cas particulièrement violente (plusieurs centaines de millimètres de précipitation estimée), le fleuve Arno rompit ses digues et déferlait à la vitesse exceptionnelle de plus de 120 kilomètres à l'heure, entraînant une masse de boue de l'ordre du million de tonnes. Réseaux urbains, ponts et de nombreuses habitations étaient emportées par le flot. Plus d'une centaine de personnes trouvaient la mort et plus de 12 000 étaient sans abri.

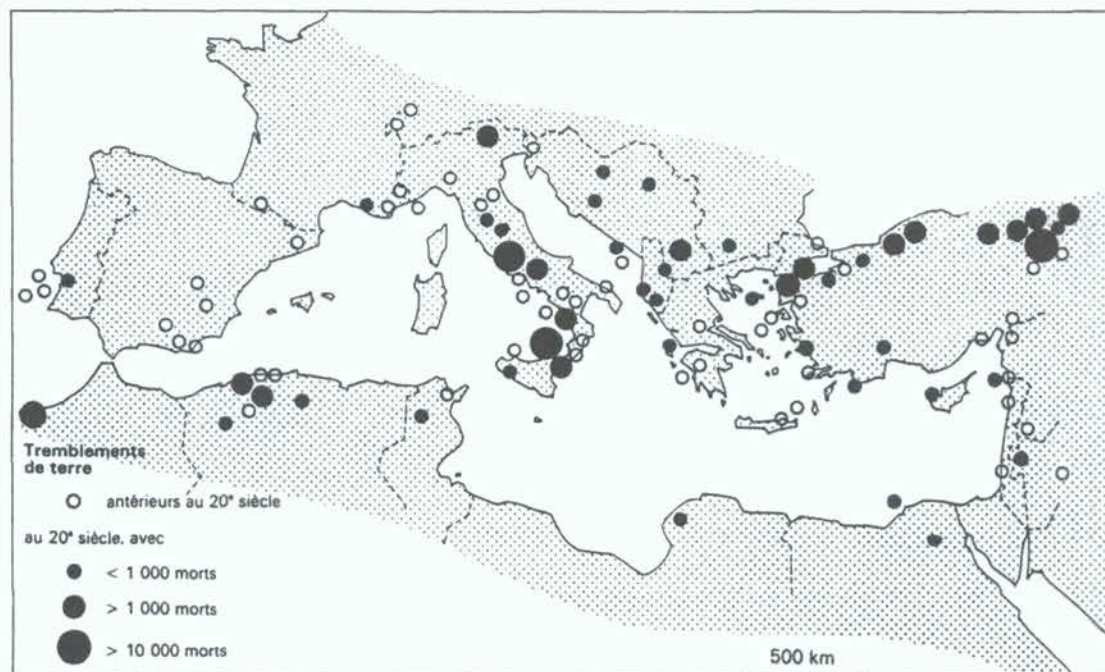
Le coût total de la catastrophe a été évalué à 1 300 millions de dollars. Le bilan s'aggravait de la destruction de réservoirs d'hydrocarbures, qui maculaient des dizaines de milliers d'œuvres d'art (peintures, manuscrits, livres anciens, objets précieux). Une campagne internationale de restauration de ces œuvres fut lancée à l'époque par l'UNESCO.

Le même jour, une autre catastrophe frappait l'Italie. Une marée-tempête d'ampleur exceptionnelle provoquait l'inondation quasi-totale de Venise, noyant la Place Saint Marc sous plus d'un mètre d'eau. Certes, Venise a connu au cours de son histoire de nombreuses « acquae altae » mais aucune encore de cette importance. Le phénomène est dû à la conjonction de la marée avec les effets de la tempête et des vents qui provoquent aussi une sorte de basculement de l'Adriatique, appelé « seiche ». Cependant le phénomène s'est aggravé et multiplié au cours

du XX^e siècle par suite de pompage des eaux souterraines (entraînant une subsidence), ainsi que de la modification de la géométrie de la lagune et de l'ouverture plus profonde de ses bouches pour la navigation. L'arrêt des pompages a à peu près stoppé l'enfoncement de la ville. Cependant, le temps ne travaille pas en faveur de Venise, surtout si le niveau de la mer est appelé à monter du fait de l'effet de serre. Les palliatifs techniques qui éviteraient le renouvellement de la catastrophe de 1966 – consistant à construire des barrages mobiles aux bouches de la lagune – n'ont toujours pas été mis en place, eu égard à la difficulté et au coût de tels travaux (Ghetti & Batisse, 1983).

Au fil des siècles, le séisme a confirmé qu'il était bien le plus meurtrier des risques naturels en Méditerranée. La **figure 1** donne une représentation cartographique sommaire des tremblements de terre catastrophiques en Méditerranée. L'ensemble des séismes de la période historique assez récente (la chronique permet de remonter sans trop d'ambiguïté de date, jusqu'aux temps protohistoriques), montre une répartition apparemment aléatoire dans une bande sensiblement Ouest-Est qui correspond à la géométrie générale de cette mer. En réalité, selon les analyses de la géotectonique moderne, il y a lieu d'introduire un compartimentage

Figure 1
Les tremblements de terre catastrophiques



Source : D'après C. Weber, 1982, modifié.

Le nombre de victimes d'un tremblement de terre ne dépend pas seulement de l'intensité ou de la fréquence des séismes, mais aussi de la localisation de l'épicentre par rapport à la surface terrestre, de la proximité de l'épicentre vis-à-vis d'une zone peuplée, ou des suites accidentelles ou épidémiques.

géographique entre, d'une part, tous les événements sismiques attribuables à la « subduction » des plaques Afrique et Europe, et d'autre part les événements sismiques du Proche Orient, sur l'axe de « cisaillement » Mer Rouge-Turquie.

Dans le premier groupe, les failles de l'Atlas ont donné lieu dans la période récente à deux séismes particulièrement importants :

- au Maroc, le séisme d'Agadir qui fit 13 000 morts et détruisit 75 % des habitations en 1960 ;

- en Algérie, la dramatique répétition, à 26 ans d'intervalle (1954 et 1980), d'un séisme détruisant une bonne partie de la ville qui s'appelait alors Orléansville (1 300 victimes) puis El Asnam, désormais appelée Chlef, avec au total quelque 4 000 victimes.

L'Italie, où l'activité géotectonique est particulièrement marquée (avec comme « signes extérieurs » le plissement encore très jeune des Apennins et, naturellement, les volcans actifs du groupe Vésuve – Etna – Îles Éoliennes), est, en quelque sorte, au centre du dispositif de l'instabilité sismique méditerranéenne. Les séismes d'Irpinie, de l'Ombrie, du Frioul, etc. ont encore été particulièrement meurtriers dans l'époque la plus récente.

L'ensemble des Balkans constitue une région à la tectonique complexe et à la sismicité active. La Macédoine garde le souvenir du séisme de Skopje, en bonne partie détruite en 1963. La Grèce, pour laquelle on parle de « plaquettes tectoniques » correspondant à un émiettement de la plaque principale, est régulièrement soumise à des séismes d'ampleur relativement modeste, mais significative, comme à Kalamata

Plus à l'Est, où Chypre apparaît comme point intermédiaire, l'axe sensiblement Sud-Nord, de la mer Rouge à la Turquie, avec, dans sa partie centrale, la « faille de la mer Morte », s'est toujours révélé particulièrement actif. On y relève, avec la destruction fameuse de Sodome et Gomorrhe, plus de deux millénaires avant notre ère, des événements sismiques de grande puissance comme le tremblement de terre qui détruisit Beyrouth, Tyr et Tripoli en l'an 551, des « essaims » de séismes en Syrie et au Liban (30 000 victimes en 1759 : les villes de Beyrouth et Damas dévastées, 20 000 victimes à Alep en 1822), etc.

Le séisme le plus meurtrier fut en 1939 celui d'Erzincan, sur la faille d'Anatolie du Nord de la Turquie, totalisant 33 000 morts et 76 000 blessés ; 200 000 habitations furent détruites. Plus près de nous, il faut citer à nouveau Erzincan, qui comptait en mars 1992 près de 600 morts et près de 4 000 blessés ; et en octobre 1992, la ville du Caire (Dahshour) en Égypte, qui enregistrait plus de 500 victimes, et plusieurs milliers de blessés.

Dans tous les cas, sauf précisément au Caire en 1992 où la magnitude semble ne pas avoir dépassé 6, les magnitudes estimées étaient de l'ordre de 7, avec un maximum de 8 pour Erzincan en 1939.

En novembre 1995, un séisme assez modeste, centré sur le golfe d'Akaba, et faisant quelques victimes dans la vallée du Jourdain, a réveillé l'inquiétude des populations de Jordanie, d'Israël et du Liban, et relancé un programme d'études sismiques important (RELEMR).

*

* *

Tableau 1

Les grandes catastrophes sismiques en Méditerranée au XX^e siècle

Pays	Lieu	Date	Morts	Dommages (millions \$)
Maroc	Tetouan	21.1.1909	100	
	Agadir	29.2.1960	13 000	120
Algérie	Bougie	12.2.1946	276	
	Orléansville	9.9.1954	1 300	6
	Melouza	21.2.1960	47	
	El Asnam	10.10.1980	2 633	5 200
	Tipaza	29.10.1989	22	
	Mascara	18.8.1994	171	
Libye	Barce (Al Marj)	21.2.1963	320	5
Égypte	Delta du Nil	12.9.1955	22	
	Le Caire	12.10.1992	593	150
Liban	Litani	16.3.1956	136	
Turquie	Malazgirt	29.4.1903	6 000	
	Canakkale	9.8.1912	923	
	Kars	22.10.1926	355	
	Kigi	1.5.1935	540	
	Kirsehir	19.4.1938	149	
	Erzincan	6.12.1939	32 900	20
	Van	10.9.1941	430	
	Erbaa	20.12.1942	3 000	
	Ladik	26.11.1943	4 013	
	Gerede	1.2.1944	3 959	
	Ustukran	31.5.1946	839	
	Erzincan	18.8.1949	450	
	Panisler	3.1.1952	133	
	Yenice	18.3.1953	265	3
	Abant	26.5.1957	500	
	Varto	19.8.1966	2 394	35
	Gediz	28.3.1970	1 086	96
	Bingol	22.5.1971	878	5
	Lice	6.9.1975	2 385	17
	Muradye	24.11.1976	3 840	60
	Erzerum	30.10.1983	1 155	
	Erzincan	13.3.1992	547	13
	Erzincan	10.10.1995	101	205
Grèce	Cephalonie	12.8.1953	445	100
	Thessalie	30.4.1954	31	30
	Santorin	9.7.1956	53	
	Thessalonique	20.6.1978	50	160
	Corinthe	24.2.1981	25	900
	Kalamata	13.9.1986	21	590
Albanie	Shkoder	1.6.1905	120	
	Valona	18.3.1962	15	
	Narta	1.6.1979	200	

Pays	Lieu	Date	Morts	Dommages (millions \$)
Yougoslavie	Skopje	26.7.1963	1 100	600
	Montenegro (et Albanie)	15.4.1979	121	450
Italie	Montelone	8.9.1905	2 500	
	Messine	28.12.1908	83 000	116
	Avezzano	13.1.1915	30 000	60
	Reggio	7.9.1920	1 400	
	Irpinia	23.7.1930	1 883	
	Irpinia	21.8.1962	16	
	Sicile (Belice)	15.1.1968	224	250
	Frioul	6.5.1976	922	8 000
	Irpinia	23.11.1980	2 614	20 000
France	Lambesc en Provence	11.6.1909	46	

Les estimations du nombre de morts et du montant des dommages varient parfois selon les sources.
Source : CRED, Louvain, Münchener Rückversicherung Gesellschaft, (1988), Rothé J.P. (1969), Swiss Re (1991) & World Data Centre A. (1985).

Si, sur le bassin méditerranéen, le risque de crues torrentielles ne vient qu'au deuxième rang derrière le risque sismique dans la triste rubrique du chiffrage des victimes, il occupe en revanche le premier rang sur le plan des fréquences d'occurrence, qui sont élevées, à la fois en répartition géographique (une bonne partie des reliefs côtiers y sont soumis) et en répartition temporelle (avec un caractère saisonnier marqué, lié à la période des pluies du climat méditerranéen).

On en a eu l'illustration très récente dans l'Ouest du Bassin, avec les catastrophes assez comparables de Vaison-la-Romaine (1992) dans le Sud-Est de la France, de l'Ourika (1995) dans l'Atlas marocain et de Biescas (1996) dans les Pyrénées aragonaises. Plusieurs dizaines de victimes dans un cas, plusieurs centaines dans l'autre, près de quatre-vingt dix victimes dans le troisième, mais une cause commune : l'arrivée d'un front de crue sur un cours d'eau d'apparence paisible, mais gonflant démesurément sous l'effet de précipitations diluviennes qui s'abattirent sur les hauts reliefs voisins. La géomorphologie – une vallée très encaissée – jouait alors un rôle déterminant. Dans les trois cas, on notait la présence de touristes en nombre significatif dans la liste des victimes – et ceci constitue évidemment, un sujet de préoccupation qui n'apparaissait pas dans le passé.

La crue torrentielle entraîne avec elle un flux boueux, que l'on nomme lave torrentielle, par analogie avec la lave volcanique. A la limite, la lave torrentielle peut être assimilée au glissement de terrain, risque au moins aussi redoutable, parce qu'il est capable de provoquer l'ensevelissement d'un village construit au pied d'un secteur à forte pente. Le phénomène a pu affecter particulièrement la Turquie, où des dizaines de morts ont été ainsi dénombrées dans des catastrophes récentes de ce type. En 1988, dans le Piémont italien, le glissement de terrain

Tableau 2

Inondations catastrophiques en Méditerranée au XX^e siècle

Pays	Lieu	Date	Morts	Dommmages (millions \$)
Maroc	Ourika	Août 1995	243	
Algérie	Mostaganem	Nov. 1927	3 000	
Tunisie	Centre	Sept. 1969	542	100
	Sfax	Oct. 1982	117	90
Égypte	Vallée du Nil	Nov. 1994	600	140
	Vallée du Nil	Nov 1995	501	
Liban	Tripoli	Déc. 1955	440	
Turquie		Fév. 1948	200	
		Juin 1948	132	
		Août 1956	138	
		Déc. 1968	147	
Grèce	Athènes	Oct. 1977	25	30
	Larissa	Sept. 1978		
	Corinthe	Janv. 1997	10	
Italie	Rovigo	Nov. 1951	100	300
	Pô	Oct. 1954	322	
	Glissement de terrain	Oct. 1963	1 189	
	Arno	Nov. 1966	113	1 300
	Plaine du Pô	Oct. 1970		200
	Plaine du Pô	Oct. 1977		150
France	Nîmes	Oct. 1988	10	600
	Vaison-la- Romaine	Sept 1992	47	
Espagne	Barcelone	Sept. 1972	474	80
	Alicante	Nov. 1972		20
	Murcie-Almeria	Oct. 1973	350	153
	Sud Est	Oct. 1982	70	300
	Sud Est	Nov. 1982	34	300
	Biescas	Août. 1996	87	

Les estimations du nombre de morts et du montant des dommages varient parfois selon les sources.

Source : CRED, Louvain & Münchener Rückversicherung Gesellschaft 1988.

montagneux avait provoqué la formation d'un barrage naturel en travers de la vallée, barrage qui devait ensuite se rompre avec de grands dommages. On prendra pour assez contestable la chronique médiévale qui attribue 5 000 victimes au glissement du Mont Granier dans les Alpes ; mais il s'agit probablement d'une sorte de « record » en matière de mouvements de terrain.

*

* *

En opposition apparente avec ces risques brutaux, que la géophysique explique par les fortes contraintes, d'une certaine manière ponctuelles ou locales, nées d'accidents tectoniques et aérologiques, le risque de sécheresse se place à la dimension quasi continentale, résultant du contraste des masses d'air – lorsque l'air d'origine saharienne prend durablement le dessus sur l'air d'origine atlantique. C'est, en réalité, au long de l'histoire, un risque permanent, dont les conséquences se révèlent, à terme, très redoutables, parce que la sécheresse, venant s'ajouter à l'aridité déjà marquée de la région, réduit les ressources vivrières à un niveau inacceptable, pour des populations qui n'ont alors comme alternative que la migration, ce qui peut signifier des conflits avec des voisins plus favorisés.

L'aridité évoluant au cours des temps, un tel schéma s'est probablement produit en Afrique du Nord, où après la période « tiède » (dite aussi altithermique) d'il y a environ 5 000 ans, alors que la pluie bénéfique s'étendait jusqu'au cœur du Sahara actuel (comme en témoignent les peintures rupestres de Tassili n'Ajjer, décrivant une civilisation pastorale), les invasions des populations concernées se multiplièrent en direction du Nord, à mesure que s'aggravait l'aridité, c'est-à-dire que reculait la limite de la zone d'influence des perturbations météorologiques, avec leur apport d'air humide et frais.

Pour protéger le domaine « arrosé » par ces perturbations, les Romains établissaient, en lisière du territoire qu'ils dominaient alors, une muraille baptisée « *fossatum africae* », de longueur gigantesque mais d'efficacité finalement insuffisante, face aux Numides, nomades envahisseurs. Depuis lors, la rétrogradation vers le Nord de la frontière du désert s'est poursuivie, avec quelques ralentissements notables, mais aussi des aggravations assez brutales, du fait de l'action humaine (déboisement, surpâturage, lacération des sols) qui a accentué la tendance à l'aridification, préalable à une désertification.

On ne saurait toutefois incriminer excessivement l'action de l'homme dans une telle évolution des marges sahariennes : il s'agit essentiellement d'un effet des grands cycles climatiques de la région – et de la planète – dont l'explication reste à ce jour mystérieuse. De même, la sécheresse occasionnelle, c'est-à-dire l'occurrence de périodes anormalement peu arrosées au cours du cycle de végétation annuel, tient à des fluctuations de courte durée que l'on subit depuis toujours, comme en témoignent les « dix plaies » de l'Égypte ancienne, où sécheresse et invasion de criquets figurent en bonne place.

L'histoire des catastrophes naturelles en Méditerranée garde évidemment aussi le souvenir des grandes épidémies qui ont littéralement décimé (parfois même, réduit de moitié) les populations de certaines zones riveraines, notamment à partir des années 1350 dans les ports du Proche Orient, de l'Europe méridionale et de l'Afrique du Nord, où se conjugaient les facteurs d'incubation et dissémination favorables à l'infestation bactérienne. La peste, et surtout la « peste noire », faisait ainsi son apparition sur de longues séquences de temps, chiffrables en années (on a pu compter une quarantaine de ces « poussées » meurtrières). Le « mal de Naples », déclaré en 1493, ajoutait à la dévastation. On notait encore en première moitié du XVIII^e siècle, la « grande peste » de Marseille, suivie d'une épidémie de choléra en Europe : puis les épisodes se raréfiaient par l'effet conjoint de l'amélioration de l'hygiène et de l'efficacité des pratiques médicales ;

mais avec encore quelques résurgences au début de ce siècle (la « grippe espagnole » des années 1918-1919). De nos jours, ce qui a pu, en son temps, être qualifié de « pandémie » étendue au Bassin, apparaît comme une menace jugulée. Mais on ne saurait oublier que tel virus nouveau – comme celui de la fièvre hémorragique identifié à Ebola, en Afrique centrale – est toujours susceptible d'apporter le retour d'épidémies, d'extension au moins locale : la menace reste présente dans ce domaine, avec les facteurs aggravants nés de la facilité de dissémination à longue distance par le transport aérien, de la sensibilité nouvelle de certains organismes, liée à l'utilisation de techniques et de produits biogénétiques, et de la résistance accrue des éléments pathogènes, aux antibiotiques : la résurgence observée de la malaria et de la tuberculose doit être considérée à cet égard, avec une vigilance particulière. On voit là un exemple significatif de l'interaction des risques naturels et des risques d'origine anthropique.

La notion moderne de prévention et de réduction des risques naturels – qui s'est érigée progressivement en doctrine dans la dernière décennie de ce siècle –, doit beaucoup à la prise de conscience du facteur environnemental dans la qualité de la vie, où se conjuguent les aspects « santé » et « sécurité » – ce que l'on traduira par le contrepoint :

- environnement agressé (par les pollutions anthropiques et les risques technologiques),
- environnement agressif (par les crises de l'élément naturel)

Le volet « pollutions et risques technologiques », qui a connu son plus grand retentissement avec l'effet Seveso (dissémination de dioxine réputée cancérigène) et la catastrophe de Tchernobyl (dont le nuage radioactif a touché une partie du Nord du Bassin, jusqu'au golfe Ligure), jouent un rôle important en Méditerranée. La Convention de Barcelone (1975) et ses différents protocoles, y est largement consacrée. Cependant les travaux du Plan Bleu ne sauraient éluder la composante des « risques naturels », qui sont dommageables à la fois pour l'Homme et son Environnement dans l'ensemble de la Méditerranée et qui seront traités ici dans leur spécificité régionale

2. Perception du risque en Méditerranée

Denys l'Ancien, tyran de Syracuse (mais tyran éclairé, qui fut le protecteur de Platon) voulut un jour montrer à son entourage la précarité de l'existence humaine. Au-dessus de la tête de l'un de ses courtisans nommé Damoclès, il fit suspendre une épée au tranchant acéré, retenue par un simple crin de cheval. Par fatigue du matériau ou par accident, un fil peut se rompre, avec la conséquence funeste qui menaçait ainsi l'infortuné Damoclès. Cette démonstration devenue, au fil du temps, mythe universel, fait apparaître que la Vie s'accompagne inévitablement du Risque.

La probabilité et l'enjeu sont les deux éléments qui caractérisent ensemble le concept de risque ; ils s'appliquent à tous les aspects de la relation humaine avec les crises aléatoires de l'élément naturel. De longue date, la théorie des jeux a introduit « l'espérance (mathématique) de gain », où intervient numériquement le produit des deux termes. En symétrie, la notion « d'aversion au risque » devient

fondamentale dans le cas des risques naturels majeurs, mettant en cause à la fois, le risque physique (« l'aléa ») et les « enjeux », c'est-à-dire les dommages auxquels on peut s'attendre en cas de catastrophe naturelle survenue.

2.1. *Le risque naturel en Méditerranée*

Il y a en Méditerranée, trois risques naturels que l'on peut qualifier de majeurs, à raison de leur intensité, de l'importance de leurs impacts, et de leur fréquence – ou de leur taux de récurrence estimé :

- les risques tectoniques, qui proviennent du sous-sol profond, et se manifestent par séismes et volcans ;
- les risques hydrométéorologiques, qui résultent de l'interaction désordonnée de l'eau et du sol, sous la forme de précipitations diluviennes, crues torrentielles et glissements de terrain ;
- les risques climatiques, induits par la sécheresse qui génère à court terme des catastrophes telles que les feux de la forêt, et qui traduit elle-même un aléa du climat, aux conséquences variées sur le moyen et long terme, dans la mesure où elle peut se transformer en aridité accrue.

Ces différents risques procèdent de causes communes, qui se nomment :

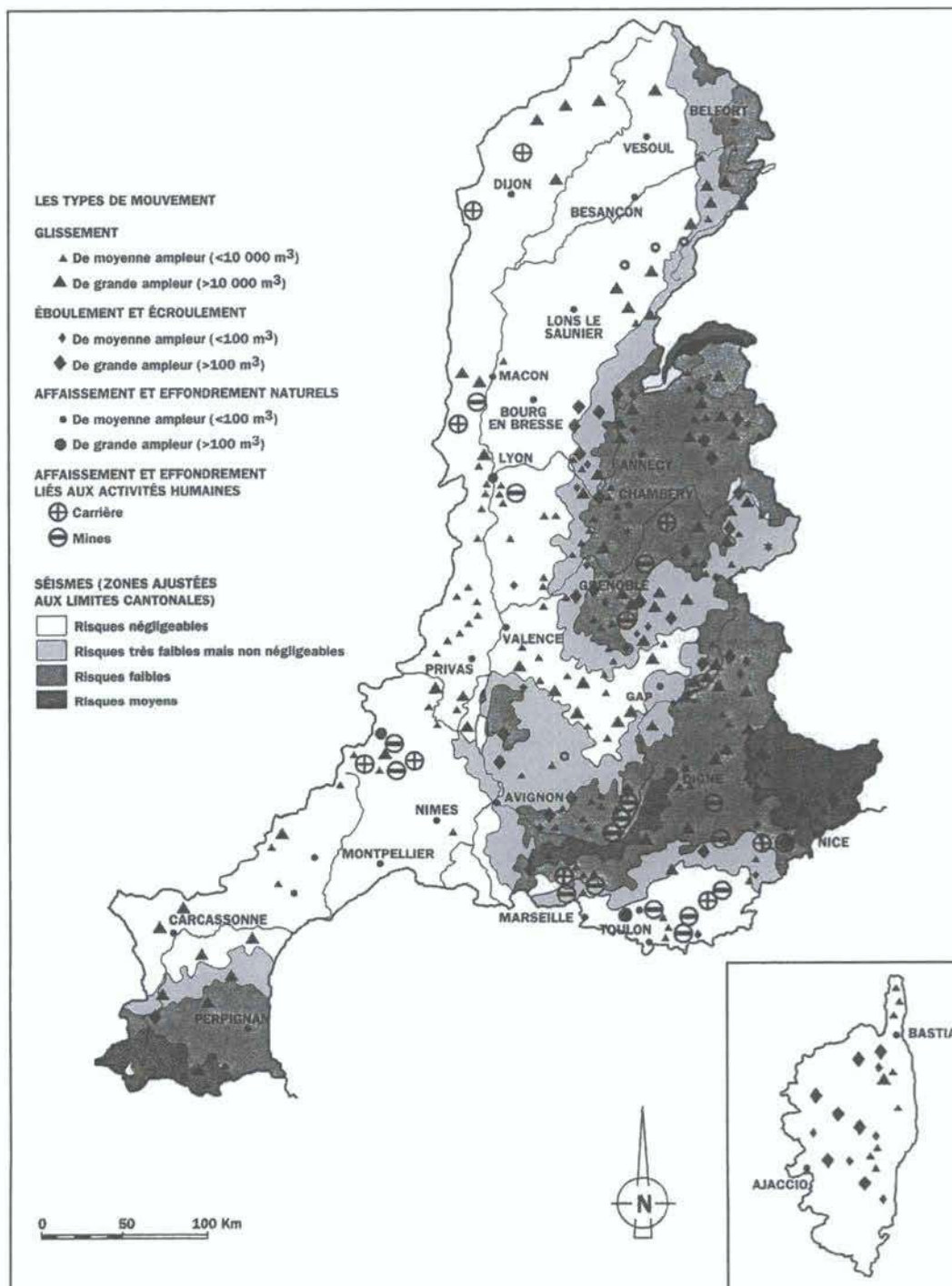
- l'instabilité des milieux en cause, et de leurs interfaces, soumises à des tensions inégales et excessives. Ceci vaut à l'évidence pour les éruptions volcaniques ou les « cyclones », respectivement engendrés par des pulsations du magma souterrain ou de l'atmosphère qui nous entoure ;
- le conflit des blocs plus ou moins homogènes que peuvent constituer ces milieux géophysiques : affrontement des deux plaques tectoniques Afrique et Eurasie pour les séismes, avances respectives des masses d'air en provenance d'Afrique tropicale, de l'Atlantique, de l'Europe du Nord et du continent asiatique, pour le climat ;
- l'emboîtement des échelles géographiques, qui relie des phénomènes d'échelle supérieure et d'échelle inférieure, aux réactions éventuellement « désaccordées » dans leur nature, leur amplitude et leur phase. La météorologie en est la meilleure illustration, qui montre, aux deux extrémités du spectre dimensionnel, des phénomènes aussi apparemment éloignés que l'orage et la trombe, de très petite dimension, et la sécheresse affectant une région entière.

Les signes « extérieurs » de ces risques, présentent eux-mêmes des caractéristiques voisines. Les risques tectoniques et hydrométéorologiques, ainsi que les feux de forêt, se caractérisent effectivement par :

- une survenance brutale (affaire d'heures pour la « montée » du risque, entre les signes précurseurs et le déclenchement effectif)
- une durée limitée (chiffrable en minutes pour le choc sismique ; en heures pour le pic de crue torrentielle)
- une extension géographique généralement limitée (à la dimension d'un ensemble urbain et sa périphérie, pour le séisme ; d'une vallée étroite pour la lave torrentielle ; d'un flanc de volcan pour un épanchement de lave volcanique).

Ces risques peuvent avantageusement être présentés de façon cartographique étant donné leur caractère localisé (**figure 2**).

Figure 2

Une présentation cartographique des zones exposées à des risques naturels


Source : BRGM/Ministère français de l'environnement.

En revanche, le risque « sécheresse » n'est pas soudain. Il se révèle dans la durée, où la saison puis l'année peuvent devenir les unités de compte tandis que la surface affectée peut atteindre la dimension inter-continentale, en l'occurrence tout ou partie de l'Afrique du Nord et de ses marges en Europe et au Proche Orient. Il s'agit d'un risque littéralement « rampant », dont les effets pervers ne se révéleront qu'à long terme en fonction de l'évolution du climat : à cet égard c'est, en fait, le risque le plus important pour le futur sur le pourtour de la Méditerranée.

2.2. *La perception du risque au niveau individuel*

A l'instant de la catastrophe, face à la diversité de ses manifestations sensibles les plus immédiates, les réactions émotionnelles humaines sont inévitablement complexes à l'image d'une réalité aux transformations multiformes. Ce seront d'abord la stupeur et l'angoisse :

- la stupeur : même pour celui qui a été prévenu, l'accélération de l'événement et son ampleur vis-à-vis de la taille humaine ont un premier effet de surprise douloureuse, que décrivent après coup tous les « naufragés » de la catastrophe ; le monde environnant apparaît fondamentalement différent, non plus bienveillant ou neutre, mais hostile.

- l'angoisse : l'angoisse naît à la fois de la sensation d'isolement, tous repères « gommés » et toutes communications traditionnelles abolies, et de la sensation d'impuissance au vu de la dimension et du caractère apparemment irréparable du bouleversement subi.

La réaction immédiate peut conduire à un effet de panique, où coexistent le « chacun pour soi » (attitude égocentrique) et le « plutôt les autres que moi » (attitude antisociale).

Mais, par une sorte de compensation volontariste, face à l'attitude de résignation ou de blocage psychologique qui pourrait gagner certains, on note dans une partie significative de la population de la région affectée par le sinistre, avec le premier sentiment de compassion, un désir fort d'exercer une solidarité active, au profit de la protection des blessés ou de la sauvegarde des survivants et des biens.

Ces sentiments se trouveront « relayés » de la meilleure manière, par les médias, presse, radio, télévision, de telle sorte que c'est, à échéance brève, l'ensemble du corps social d'un pays ou d'une région qui se trouvera rassemblé dans un même élan généreux. Le risque naturel libère ainsi une charge émotionnelle forte qui déterminera, après l'événement survenu, une volonté de réduire, dans le futur, les conséquences désastreuses d'une résurgence des catastrophes du même type.

Cette volonté n'aura – fait humain – que trop tendance à s'estomper avec le temps : l'homme sera toujours enclin à revenir, en période de calme, à des habitudes d'indolence, négligence et désinvolture que plus tard on estimera coupables. Il faut donc choisir cette période de retour à la normalité après la crise, pour avancer dans la voie de la réduction des catastrophes. Le problème ainsi posé sera abordé de manière différente par la population et ses représentants (élus et associations), d'une part ; et par les « acteurs responsables », (sécurité civile, corps administratifs et techniques concernés) et les « praticiens » (science et ingénierie), d'autre part.

2.3. La perception sociale du risque

Il y a eu, dans l'esprit du grand public, une évolution historique, que l'on pourrait synthétiser par un triptyque, où l'on qualifierait successivement la perception du risque naturel par ces mots : « l'inéluctable, l'imprévisible, le remédiable ».

L'inéluctable correspondait initialement à la vision d'un monde où des puissances maléfiques sanctionnaient sans recours l'humanité réputée coupable. La notion d'inéluctable perdure inévitablement pour ceux qui côtoient les dangers naturels, par besoin d'assurer leur travail ou leur subsistance (marins, montagnards, paysans accrochés aux terres volcaniques fertiles) ; mais elle s'accompagne désormais de l'espoir raisonné de solutions de secours, comme l'avertissement rapide en situation d'urgence.

L'imprévisible caractérise la phase historique où le phénomène naturel est bien identifié et, d'une certaine manière individualisé, voire personnalisé, mais ne paraît pas susceptible d'être prévu. Il en allait ainsi des tempêtes jusqu'au XIX^e siècle. Mais le progrès scientifique établit des brèches dans ce mur du scepticisme. La prévision, au degré de finesse convenable (précision de la localisation et de l'horaire de déclenchement du phénomène dangereux), apparaît désormais praticable à courte ou moyenne échéance dans certains des domaines géophysiques concernés.

Le remédiable participe d'un mouvement d'opinion engagé dès le XVIII^e siècle et qui s'apparente à ce qui fut appelé un siècle plus tard, le positivisme, attitude pragmatique qui considère l'événement en lui-même, avec ses conséquences, dont on peut limiter l'ampleur par des mesures appropriées – avant et après – (mesures de prévention et de compensation, y compris la réhabilitation de l'habitat et de l'organisation urbaine).

C'est sûrement l'exigence principale de « l'homme de la rue », de mieux en mieux informé, par l'enseignement et par les médias, et de plus en plus conscient de la valeur d'une vie humaine et de son environnement.

Dans ce but, trois ordres de demandes s'expriment, que l'on classera ci-après en ordre d'importance croissante :

(i) *comprendre*, c'est-à-dire comprendre le « pourquoi » d'une catastrophe, ses causes profondes, ses manifestations extérieures, ses impacts socio-économiques ; en faisant appel à l'enseignement et à la connaissance des travaux de recherche ;

(ii) *apprendre*, c'est-à-dire apprendre le « comment » des contre-mesures applicables à la réduction des catastrophes, triplement en matière de prévention et préparation à la crise, en matière de surveillance et signalisation du danger et en matière d'intervention, suivie à quelque échéance, de la réhabilitation souhaitée ;

(iii) *préparer* pour maîtriser la catastrophe : cette demande s'adresse très directement aux Pouvoirs responsables, qui ont en mains les moyens de cette préparation et, dans une certaine mesure, de cette « maîtrise », et d'abord au sens de la sauvegarde des vies humaines, priorité des priorités.

On peut distinguer là des composantes d'action multiples :

– la protection de l'habitat, individuel ou collectif

Ceci implique notamment la localisation de l'habitat et des activités (zonage, documents d'urbanisme, plans de prévention des risques). Ceci comporte également le contrôle de vétusté pour les structures, la mise à l'abri des installations les plus sensibles (par exemple les installations de dialyse et les postes d'oxygène dans les centres hospitaliers), les dispositifs d'autodéfense particuliers,

- l'aménagement urbain du point de vue de la défense civile

Ceci concerne au premier chef, les voies d'accès, qui doivent être toujours praticables pour l'évacuation d'urgence et l'arrivée des secours ; et les « réseaux vitaux » de distribution de l'eau et d'électricité, également de la communication,

- le renforcement des fonctions vitales de la ville

Il s'agit là des fonctions permettant d'assurer la gestion effective, par la coordination des Services publics, en temps « normal » et en temps de crise (communication intra et extra-urbaine, avec les différents acteurs, y compris les acteurs sociaux ; dispositifs d'assistance à plusieurs échelons, régionaux et nationaux),

- la disponibilité des secours d'urgence

La ville, éventuellement aidée par les centres et régions qui lui sont proches, devra être en mesure de déployer des moyens de secours mobiles, sur avertissement d'urgence. La ville disposera de matériels pré-stockés pour la première aide, et d'un personnel capable d'apporter, en particulier, le soutien médical nécessaire.

Ces mesures supposent une organisation adéquate, éventuellement plus permanente que la « cellule de crise » qui se met généralement en place lors de la montée du risque, trop tard parfois pour être pleinement efficace en temps réel de la catastrophe.

Cette organisation, qui devra être connue de tous, et dotée des pouvoirs nécessaires, aura, en dehors de ses missions proprement techniques, une mission sociale de préparation à la crise, visant à recenser tous les « acteurs responsables », à les motiver et à les former pour disposer de leur pleine capacité d'action efficace au temps réel indiqué ci-dessus.

Dans la catégorie des « acteurs responsables » figurant au schéma de la crise, on distinguera d'une part, les gestionnaires aux différents niveaux de responsabilité, et d'autre part, les praticiens et les scientifiques. Un dialogue constant, confiant, efficace entre ces deux groupes constitue la condition première du bon rendement de la gestion des risques.

Par gestionnaires, on entend l'ensemble des Pouvoirs, aux niveaux « hiérarchisés » de l'Administration communale, régionale, nationale, disposant des deux leviers de responsabilité et décision. Par praticiens, on désigne les Corps techniques et les Organismes académiques et de recherche, qui disposent des outils utiles et du savoir-faire pour les utiliser avec compétence.

Le besoin d'une liaison serrée entre scientifiques et ingénieurs apparaît ici, avec la complémentarité des uns et des autres. Au-delà de la science fondamentale, on demandera aux scientifiques d'avancer vers certains objectifs d'application, pour lesquels l'ingénierie apportera de son côté la capacité d'innovation technologique et d'application pratique « sur le terrain ». Les applications aux problèmes méditerranéens s'inscrivent, à l'évidence, dans les échanges inter-États, pour tirer bénéfice des résultats déjà obtenus à l'échelon national ou sub-régional,

en fonction de besoins multiples de la recherche (techniques nouvelles), de la prévention (les réseaux) et des secours (assistance médicale, logistique), pour lesquels les moyens d'un pays pris individuellement seront toujours insuffisants.

Le chapitre III développera plus largement les stratégies utiles dans cette gestion des risques ; on insistera ici sur la composante sociale qui demande plus particulièrement l'attention au niveau local, communal et régional, où se tissent les liens les plus favorables à la vie associative. Cette vie associative, basée essentiellement sur le bénévolat, conjuguée avec l'organisation administrative traditionnelle, a toute chances d'être particulièrement efficace en matière de réduction des risques, parce qu'on y rencontre la convergence de compétences variées et de motivations en faveur de l'humain.

Bien que les Méditerranéens aient une très longue expérience des risques naturels et qu'ils aient été ici et là durement frappés au cours de l'histoire et à l'époque contemporaine, on peut penser qu'ils adoptent encore trop souvent une attitude résignée dans leur perception individuelle, de telle sorte que la défense sociale contre les risques demeure largement insuffisante dans nombre de pays de la région. Il est donc intéressant de rechercher comment la situation présente pourrait évoluer selon l'approche prospective préconisée par le Plan Bleu.

3. Face au futur : les tendanciels

3.1. *L'environnement modifié : une vulnérabilité nouvelle*

La vulnérabilité aux risques naturels va connaître des évolutions importantes, déjà sensibles à l'orée du XXI^e siècle, et progressivement accélérées, pour une série de raisons humaines, à caractère général pour le globe, mais éventuellement accentuées en Méditerranée, au-delà des années 2025.

3.1.1. *La concentration urbaine*

Se cumulant avec la démographie croissante au Sud et l'Est du Bassin, la migration des populations vers les villes – et spécialement vers les villes côtières, mieux armées pour le développement industriel et commercial – constitue dès aujourd'hui un fait majeur en Méditerranée, avec le développement de grandes villes et de mégapoles comme Barcelone, Marseille, Naples, Athènes, Izmir, Istanbul, Tel Aviv, Beyrouth, Alexandrie, Le Caire, Tunis, Alger ou Tanger, sans omettre de nouvelles concentrations sporadiques dans les divers pays riverains.

En tout état de cause, l'étendue et la densité de ce nouveau peuplement urbain, dans des conditions parfois – ou souvent – anarchiques et précaires, sous le rapport de la sécurité des constructions et de l'hygiène (« bidonvilles »), multiplient les risques d'atteinte grave au plan humain à la fois pour l'intégrité physique des personnes (voire leur survie) et pour la conservation de leur patrimoine personnel et de leurs activités dans l'économie générale.

Ceci vaut pour l'ensemble des risques géologiques et géotectoniques, avec le facteur aggravant que constitue la construction non réglementée en zones exposées, où l'amplification du risque sismique rejoindra le risque de glissements de terrain, tandis que l'imperméabilisation des sols favorisera des effets de crues torrentielles, dans des villes où ce risque existait peu jusque-là.

3.1.2. *La sensibilité du système de fonctionnement de la vie civile aux atteintes précitées, par les entrelacs des fonctions d'activité et de gestion*

Il y a, à cet égard, double nécessité :

- d'une part, de préserver les voies d'accès – routes, ponts et ouvrages d'art ; plates-formes portuaires et aéroportuaires –, et l'acheminement des ressources vitales, que sont l'eau et l'énergie (électricité, gaz) ;
- d'autre part, de maintenir les moyens de coordination, qui concernent très spécialement, les télécommunications (vulnérables lorsqu'elles adoptent, à ce jour majoritairement, la voie filaire : téléphone, téléfax, etc.), sans négliger les domaines nouveaux, en large développement, qui se rattachent aux « téléactivités » : télétravail, télé-enseignement, télésurveillance, télé médecine, etc.

La notion de « réseaux urbains vitaux » avec leurs interactions s'impose désormais pour définir la vulnérabilité croissante du système économique en agglomération, aux conséquences d'une catastrophe souvenue. Il va de soi que les mêmes considérations jouent pour la qualité de vie – parfois les conditions de survie immédiate – des habitants de la cité, en sorte qu'il faut considérer le fonctionnement de la vie socio-économique comme un ensemble lié, cohérent avant l'événement, « disjoncté » – si l'on accepte le terme – lorsque celui-ci survient.

3.1.3. *Les changements environnementaux*

Il faut placer ici au premier rang le changement climatique d'origine anthropique à cause des effets multiples :

- d'un phénomène global, appelé peut-être improprement l'effet de serre, lié à l'augmentation de la teneur en gaz absorbant le rayonnement solaire (dont le CO₂, déjà présent à l'état de nature) et à l'augmentation globale de température qui doit en résulter.
- de phénomènes météorologiques (ou plutôt océano-météorologiques) liés à cette nouvelle répartition des températures, modifiant non seulement le climat d'ensemble de la planète, c'est-à-dire une sorte d'onde de chaleur remontant vers les zones polaires, mais aussi, et surtout peut-être, les climats régionaux, en fonction de la présence éventuelle d'eau (maritime) transférable sur les zones insulaires et continentales.

Par ce dernier effet, on assistera à une différenciation accentuée entre les zones d'activité renforcée (zones urbaines), et les zones rurales, entraînant une tendance concomitante à la désertification. Les conséquences prévisibles en matière de réduction des ressources agricoles auront, comme corollaire, des déplacements de population en masse, vers les centres d'urbanisation, réputés porteurs de possibilités nouvelles au point de vue du travail et du niveau de vie.

Pour la Méditerranée, la perspective climatique apparaît complexe du fait de la coexistence de régimes induits à la fois par la siccité des masses continentales voisines d'Afrique et d'Asie et par les flux d'humidité issus de l'Atlantique, qui peuvent être relayés, dans une certaine mesure, par un apport « local » lié aux mécanismes thermo-convectifs de la Méditerranée.

3.1.4. *les effets anthropiques ajoutés, susceptibles d'aggraver les facteurs environnementaux*

Il faut ici distinguer entre les effets « par inadvertance », c'est-à-dire insouciance ou désinvolture, et les effets « conscients », où l'attitude humaine vis-à-vis de son environnement ne tient compte essentiellement que du besoin immédiat, ou de la rentabilité de l'action menée.

Au premier type, se rapportent, par exemple, la lacération et la dégradation locale de certains sols par le piétinement des touristes, la petite culture désordonnée ; le manque d'entretien des cours d'eau, plus tard générateur d'aggravation de crues (embâcles puis débâcles). L'abandon des terrasses, l'abattage de lignes d'arbres ou de haies d'arbustes, pour faciliter les cultures avec les engins motorisés, rattache ces attitudes négligentes aux attitudes concertées de certains agriculteurs, pratiquant le surpâturage, la surexploitation de terres productives ou le pompage excessif des eaux souterraines. Il s'agit enfin du comportement de certains promoteurs, soucieux de réaliser des plus-values par l'accaparement des sites favorables du point de vue de l'urbanisation, des implantations hôtelières ou de loisir, etc.

L'accumulation des populations a d'autre part des conséquences d'ordre médical, particulièrement sensibles après la survenance d'une catastrophe géologique ou hydro-météorologique, lorsque les facteurs de pollution et d'atteinte bactérienne sont, en quelque sorte, « libérés » et diffusent dans tout l'environnement. Par ces différents biais, on réalise bien que l'environnement agressé par les pollutions de l'air et de l'eau, ou par d'autres facteurs anthropiques, fait problème commun avec l'environnement agressif, dont les excès provoquent les crises naturelles ici considérées.

3.1.5. *La sensibilité sociale aux risques*

Il s'agit là de l'aversion aux risques, de plus en plus fortement ressentie, en fonction d'un plus grand besoin de sécurité – élément du confort de vie moderne – ainsi que d'une prise de conscience plus précise de la relation entre la concrétisation du risque et l'inhibition de certains facteurs du développement, qui retentissent en définitive, sur la socio-économie et ses produits dérivés (réduction du chômage et niveau de vie). A cet égard, il faut noter une augmentation de la vulnérabilité des sociétés modernes plus complexes par rapport aux sociétés antérieures.

Cette prise de conscience est évidemment accrue par le retentissement que donnent les médias à toutes les crises et singulièrement aux crises des éléments naturels, qui se manifestent de façon spectaculaire et se traduisent – trop souvent – par des « scores » de victimes, complaisamment cités.

En contrepoint, l'information plus complète, donnée d'abord au niveau scolaire puis – il faut reconnaître cette symétrie favorable – par les médias eux-mêmes, dans une fonction éducative qu'ils cultivent de plus en plus pour répondre à la demande nouvelle de leur audience, a pour effet d'accroître la lucidité du public sur les causes du phénomène de « risque », et son exigence vis-à-vis des Pouvoirs responsables pour en réduire les effets. Cette double attitude caractérisera certainement l'état d'esprit des générations au début du prochain siècle.

3.2. *Les défis futurs : les « tendanciels » des risques méditerranéens*

Il y a désormais entre l'aggravation du risque, pour toutes raisons confondues (selon l'analyse ci-dessus), et l'action humaine, mettant en œuvre toutes les contre-mesures disponibles, une sorte de course de vitesse, dont les objectifs, aujourd'hui seulement esquissés, prendront toute leur ampleur à l'horizon des prochaines décennies.

Les termes de la montée du risque, corrigée par l'intervention humaine à plusieurs niveaux d'efficacité, peuvent être exprimés dans un tableau de « tendanciels », notion dont on doit l'utile introduction aux études initiales du Plan Bleu.

A titre de référence, on se limitera ici à conjuguer l'aléa climatique avec les images des scénarios du Plan Bleu qui n'en tiennent pas compte. On distinguera ainsi pour le futur à moyen et long terme :

3.2.1. *Un « tendanciel risque » accentué*

On voit là essentiellement la conséquence d'un aléa climatique réduisant progressivement les ressources en eau, et se combinant avec la montée rapide de l'urbanisation contrôlée ou « sauvage ».

La multiplication des sécheresses et la marche vers une aridité croissante dans un sens général Sud-Nord, c'est-à-dire de l'Afrique vers l'Europe du Sud, pourrait être de type linéaire, c'est-à-dire sans accélération prévisible, mais, en tout état de cause inexorable, parce que répondant à une loi physique liée à l'effet de serre.

La couverture des besoins en eau atteindrait ainsi le seuil critique qui est estimé être de l'ordre de 60 % pour l'indice d'exploitation à l'échelle nationale (rapport besoins/ressources disponibles), et le dépasserait dans un certain nombre de régions et pays dès avant 2025, si les contre-mesures adéquates ne se révélaient pas efficaces. Les travaux du Plan Bleu sur ce sujet donnent des précisions détaillées concernant les disponibilités en eau pour chacun des pays du Bassin, (Margat, 1992 ; Plan Bleu, 1997).

Dans ce tendanciel, le risque naturel aggravé en matière de ressource en eau se traduit en termes socio-économiques, par la réduction des ressources agricoles vivrières pour la consommation locale et l'exportation (céréales, fruits, vignes) et en termes géopolitiques, par la double migration des populations rurales vers les ensembles urbains, et des pays les moins favorisés vers les pays les plus riches en eau.

Il va de soi que ces conséquences envisagées représentent une préoccupation forte pour les « décideurs » des pays concernés et pour les Organismes de coopération dont ils se sont déjà dotés ou dont ils se doteront pour affronter ensemble l'énormité du problème posé.

3.2.2. *Un « tendanciel risque » atténué*

On suppose, en ce cas, d'une part, que la montée du risque climatique est plus lente que prévue – l'effet de serre ne manifestant ses conséquences les plus graves, y compris une répartition encore plus systématiquement inégale des pluies, que dans la deuxième moitié du siècle prochain ; d'autre part que, profitant en quelque sorte du répit accordé, les hommes ont pu, par une organisation adaptée,

réduire ces conséquences au plan humain (adaptation des cultures, économies d'eau, recyclage, peut-être « pluie provoquée »).

En ce cas, l'aggravation envisagée par les modèles sera contenue dans ses effets socio-économiques. Une stabilisation des flux migratoires sera obtenue, sans augmentation de la charge locale des « sans-emplois ».

3.2.3. Un « tendanciel risque » moyen

Un « tendanciel risque » moyen apparaîtra finalement comme un pronostic raisonnable en se fondant sur certain effet « de balance » entre les facteurs précédents.

On peut penser en effet que, sur la constatation de l'aggravation de l'aléa physique, tant en ce qui concerne le climat que le risque tectonique, la communauté internationale durcira ses efforts, par une organisation plus serrée, l'accélération de la recherche, et concurremment de l'aménagement défensif du territoire (plans d'utilisation des sols, gestion de l'eau).

C'est dans cet esprit que l'on peut élaborer un ensemble de stratégies, qui se retrouvent en chapitre III, et que l'on synthétisera de la sorte :

- priorité donnée à la mobilisation des ressources humaines. Il s'agit de la sensibilisation du grand public et des décideurs à la problématique générale des risques, avec accent mis sur le risque de sécheresse et d'aridification : esprit d'économie dans la gestion de la ressource-eau ; pratique d'optimisation du rendement dans l'utilisation de cette ressource, y compris les emplois domestiques, etc. Comme conséquence, le grand public « consommateur » pourra être utilement représenté dans les organismes planifiant cette gestion.

- mise en œuvre des moyens techniques appropriés

Si on raisonne toujours sur la ressource en eau, facteur dominant dans l'évolution des aléas géographiques, l'économie de l'eau dans l'irrigation constitue la première des parades en Méditerranée. La mise au point d'un système de transport d'eau par véhicules spécialisés (comme l'utilisation de convois de conteneurs immergés) et par pipe-lines représente un investissement lourd, mais éventuellement tolérable, au regard du renchérissement de la ressource. Les techniques de dessalement de l'eau de mer par distillation thermique et par osmose inverse constituent une solution, longtemps considérée comme marginale en raison du coût élevé de l'énergie nécessaire, mais peut-être réductible à l'avenir.

Telles sont bien, en effet, les perspectives qu'il faut dès maintenant évaluer quant au risque climatique. Cette évaluation comportera deux volets : le premier, demandé à la recherche et à l'expérimentation, concerne la progression du risque à l'échéance des prochaines décennies, prenant en considération à la fois les cycles naturels et les perturbations, éventuellement décisives, apportées par l'action anthropique (effet de serre) ; le second, dans les mêmes échéances, portera sur l'efficacité des actions imaginables pour compenser les effets graves de la raréfaction de la ressource face aux besoins croissants induits par l'évolution démographique.

De telles actions sont parfaitement concevables, moyennant un développement de la coopération entre États, dans l'ordre technique – et l'on pourrait par-

ler à ce propos « d'ingénierie méditerranéenne », et dans l'ordre socio-économique, qui s'appellerait aussi bien « géopolitique ». A cet égard, dans le domaine complexe de la gestion de l'eau en Méditerranée, un processus de coopération est d'ores et déjà engagé, visant notamment à atténuer les effets de la variabilité des ressources par les aménagements et une meilleure gestion des demandes. Quant au risque tectonique, son aggravation possible est essentiellement liée au développement urbain ; les moyens d'y faire face seront développés au chapitre III.

Problématique des risques méditerranéens

La gestion du risque appelle l'attention des spécialistes et du grand public sur une multiplicité de problèmes, qui vont de la compréhension scientifique de la genèse et de l'évolution des phénomènes en cause, à leurs impacts possibles d'ordre social et d'ordre économique et à l'arsenal des contre-mesures – ou parades – applicables pour les réduire.

Le présent chapitre traitera des connaissances acquises et des interrogations qui demeurent dans ces trois domaines. Il s'appuiera notamment sur des « études de cas », car rien n'est plus important pour la réduction du risque futur, que le « retour d'expérience », c'est-à-dire la relation complète et l'explication des événements du passé.

Ceci vaut pour les deux risques « brutaux » ici analysés en région méditerranéenne – risque sismique et risque d'inondation torrentielle ; et d'autre manière, pour le risque récurrent, aggravé par l'action anthropique, de la sécheresse.

La problématique des risques apparaîtra dans le découpage en trois segments : Genèse, Impacts, Parades, de chacun des sous-chapitres de ce chapitre II, consacrés successivement : au risque tectonique (séismes et volcans) ; au risque hydro-météorologique (inondations et glissements de terrain) et au risque climatique (sécheresse, feux de forêt et désertification).

1. Les risques tectoniques en méditerranée : séismes et volcans

En dépit du progrès considérable des techniques d'auscultation de l'intérieur de la Terre, par réseaux sismologiques à l'échelle continentale et à l'échelle mondiale, traitement numérique des mesures sismographiques, etc. la science de la

« géophysique interne » et de ses diverses instabilités, comporte encore d'importantes inconnues.

On sait que la stratification profonde de la planète met en première ligne, à partir de la surface, la « croûte » puis le « manteau » – l'épiderme et le derme – où se placent les éléments moteurs des manifestations sensibles de notre plancher solide (lithosphère). On considère aujourd'hui que la cause fondamentale des mouvements de la lithosphère, est le magma, matière visqueuse à haute température, probablement animée d'une circulation de type convectif, à l'image des tourbillons atmosphériques – « tourbillons de Bénard » – qui naissent, comme dans une bouilloire, des points les plus chauds à sa base.

Le magma ainsi brassé dans l'épaisseur du manteau – 3 000 km pour fixer les idées – avec des vitesses certainement très lentes (de l'ordre du centimètre par an) supporte et en quelque sorte, transporte, des blocs de dimension continentale ou inter-continentale que l'on appelle « plaques ». Le découpage tectonique de la Méditerranée traduit une grande diversité de configurations, consécutives aux transformations de l'ancienne Tethys, jusqu'à l'âge tertiaire – il y a seulement 10 à 20 millions d'années, âge des jeunes massifs des Alpes et des Apennins.

Les conflits nés de l'affrontement des plaques, ou du coincement puis de l'expulsion du proche magma, sont à l'origine des instabilités qui déclenchent d'une part, les secousses sismiques ; et d'autre part, les éruptions volcaniques. La protection contre les risques sismiques et volcaniques, dont les apparitions sont apparemment anarchiques, revêt un caractère de grande précarité.

On ne possède pas d'outil prévisionnel fiable pour l'aléa sismique. C'est, en fait, un domaine de recherche particulièrement important et difficile, à raison des insuffisances de la mesure, toujours ex situ, et de l'hétérogénéité géologique des masses qui entrent en jeu. Mais on peut cependant limiter les conséquences des catastrophes induites. D'abord, par l'éducation préventive qui enseignera les actes – réflexes les plus appropriés. Ensuite, par la planification de la construction, en identifiant les zones de géologie dangereuse (et d'abord les « failles ») au moyen de techniques de micro-zonage. Enfin, par les dispositions constructives associées aux « codes » de construction. Ceux-ci définissent les architectures et les matériaux d'ouvrage les plus résistants à des secousses d'intensité donnée.

La protection contre les éruptions volcaniques ressortit aux mêmes principes généraux, mais bénéficie de meilleures possibilités de prévision, à partir d'éléments précurseurs identifiables plus facilement, et d'une localisation plus précise des zones menacées.

1.1. *Genèse du risque sismique*

C'est un météorologiste, l'allemand Wegener, qui, percevant de certaines analogies entre les disciplines, a émis dès 1915 la théorie désormais bien vérifiée de la « dérive des continents », d'où découle aujourd'hui la « tectonique des plaques », expliquant les tremblements de terre.

Les « plaques », éléments – blocs de la croûte terrestre, d'une épaisseur de l'ordre de grandeur de la centaine de kilomètres, flottent littéralement sur le magma (qui se répartit lui-même dans tout le « manteau » supérieur). Le mouve-

ment relatif de ces plaques par convergence, par coulissage ou par divergence (c'est-à-dire : éloignement), provoque des phénomènes tectoniques sensibles à faible profondeur. Le cas dit « de subduction », où l'une des plaques – la plus lourde – s'enfonce sous l'autre et peut pénétrer l'asthénosphère inférieure, jusqu'à parfois 700 km de profondeur, est le plus souvent cité comme source principale du risque tectonique (cf. la « ceinture de feu » du Pacifique). Le cas des collisions inter-continentales n'est pas moins important ; les failles « transformantes » correspondent au coulissement horizontal de deux plaques adjacentes. Enfin, il peut y avoir des « craquements » à l'intérieur même des plaques.

Les failles superficielles sont les signes extérieurs des effets de la dynamique interne, commandée par les mouvements du magma, avec des temps de relaxation très inégalement prolongés.

La Méditerranée se caractérise par la multiplicité des modes sismiques avec, sur la plus grande partie du Bassin, un mouvement d'entraînement général, qui se traduit par la collision inter-continentale Afrique-Eurasie à raison d'une progression moyenne de 2 cm par an. D'Ouest en Est, on notera ainsi des failles sur l'Atlas maghrébin, dont celle du Haut-Atlas marocain, puis l'Atlas et le Tell algérien. En Méditerranée centrale, le grand mouvement orographique de l'Italie (surrection de la chaîne des Apennins, déviée plus au Nord en direction des Balkans), détermine une sismicité forte (cf. Frioul, Irpinie). Les manifestations sismiques de l'ensemble des pays du Nord de la Méditerranée orientale, Adriatique, Balkans, Grèce correspondent à un émiettement des failles, ou si l'on veut des « plaquettes » (**figure 3**).

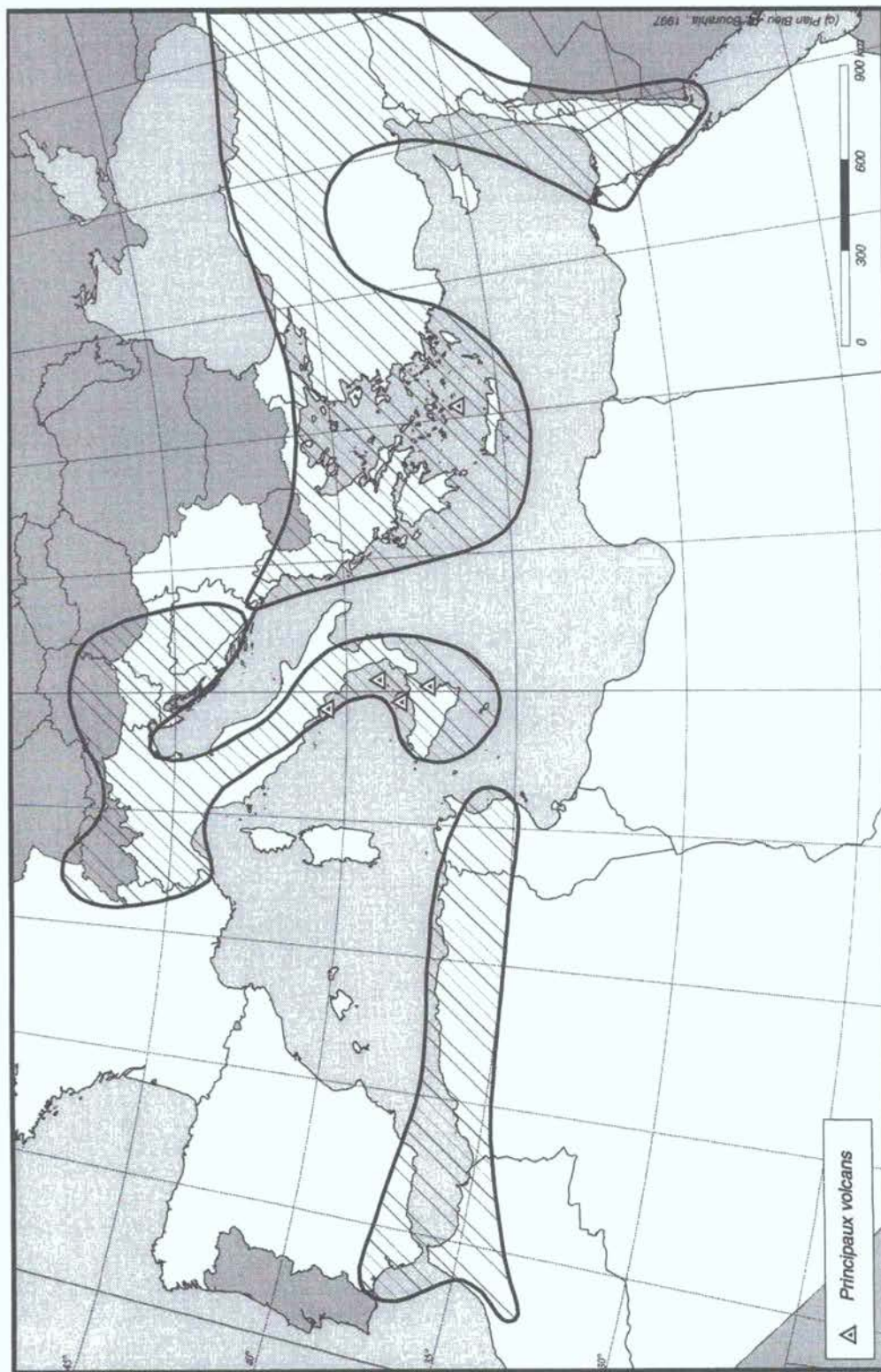
La singularité italienne mérite qu'on s'y attarde. Les Apennins sont une des chaînes les plus jeunes du monde : le pliocène s'y trouve soulevé à plus de 1 000 mètres d'altitude. L'important tremblement de terre de l'Irpinie de juillet 1930, entre Melfi et Bénévent sur l'axe de l'Apennin napolitain, qui fit quelque 1 800 victimes, est imputable au soulèvement de ce massif. « La plupart des épicentres des séismes destructeurs italiens, s'alignent sur l'axe de cette chaîne, en train d'achever sa formation... On considère, d'un point de vue tectonique général, qu'il s'agit bien d'une masse qui plisse sans casser. Ceci est de règle : plus le plissement est récent, plus la fréquence et l'intensité des séismes orogéniques sont grandes » (Rothé).

Le schéma est très différent sur la bordure orientale de la Méditerranée. Là, le phénomène causal est un coulissement avec la plaque arabique, à des vitesses de défilement comparables à celle de la collision Afrique – Europe. Ceci se traduit par la faille transformante dite « de la mer Morte » ou parfois « du Liban ». Cette faille prolonge selon un axe Sud-Nord, le grand fossé africain (« rift »), véritable balafre tectonique, qui traverse la mer Rouge et trouve sa plus grande extension en largeur sur l'Afrique tropicale, dans la région des Grands Lacs. Dans sa partie septentrionale, la faille de la mer Morte atteint la Turquie, où différents effets se conjuguent pour créer une forte sismicité, en rapport plus à l'Est, avec les sismicités caucasienne et iranienne.

Deux observations particulières illustrent le caractère très inhomogène de la tectonique méditerranéenne.

L'une d'entre elle concerne l'existence des séismes profonds, rares en dehors de la ceinture circumpolaire. On désigne ainsi des séismes prenant naissance très au-

Figure 3
Risques sismiques en Méditerranée : zones sources principales



Source : Plan Bleu/Villevieille.

delà de la profondeur moyenne de quelques dizaines de kilomètres, qui caractérise la plupart des foyers dans la croûte superficielle. Or, on a noté (en 1938) un foyer sismique à 270 kilomètres de profondeur sous les îles Lipari, c'est-à-dire au centre de l'arc dessiné entre Naples et Sicile, par la chaîne récente des Apennins ; en 1955, dans la même région, un séisme prend sa source à 450 kilomètres. Le foyer du violent séisme du 24 mars 1954 (magnitude 7,1) sous la Sierra Nevada en Espagne, se situait à 630 kilomètres ; dans la même région, le 30 janvier 1973, le foyer d'un autre séisme de magnitude 4, était identifié à une profondeur sensiblement égale.

Une deuxième singularité qui mérite d'être signalée concerne la couche de Mohorovicic. Le sismologue yougoslave, avait découvert en 1909 cette discontinuité, qui marque le « plancher » de la croûte terrestre, dans sa liaison avec le manteau supérieur. Les mesures de Mohorovicic s'appuyaient sur une analyse sismographique de la zone balkanique (discontinuité relevée à - 57 km). Depuis lors, des mesures plus systématiques ont mis en évidence des points singuliers beaucoup plus proches de la surface (cf. zone d'Ivrée, dans le Piémont).

La secousse sismique se produit, en règle générale, le long des failles, qui sont les déchirures de la lithosphère, à la suite des chocs inter-plaques ou de « craquements » intra-plaques. La durée du phénomène s'exprime en quelques secondes ou en quelques minutes. Il peut y avoir dans les heures, les jours ou même les mois consécutifs, des « répliques », en principe d'intensité décroissante. Enfin la secousse peut être accompagnée de tsunamis, qui peuvent dépasser la dizaine de mètres comme à Messine en 1908 ou à Santorin en 1956.

D'un point de vue mécanique, on reconnaît dans la secousse sismique, deux types de mouvements (et leurs combinaisons), qui sollicitent la charpente des constructions :

- à la verticale du foyer, dont la projection au sol est appelée épicentre, il s'agit essentiellement d'un mouvement vertical de bas en haut ou de haut en bas, selon que le phénomène se traduit par un pincement (une compression) surélevant le terrain, ou, au contraire, par une subsidence, sur dilatation du milieu ambiant ;

- plus loin, l'effet vertical s'atténue avec la distance ; l'effet dominant est horizontal, lié au mouvement de la faille. L'oscillation ressentie n'est pas exactement plane : on peut constater des secousses à angle droit du balancement d'objets suspendus ; ceci traduit les effets duels des ondes à composante transversale et des ondes longitudinales, enregistrées sur les sismographes (ondes P et S).

Les tremblements de terre peuvent être caractérisés en forme numérique par des « échelles », traduisant les degrés de violence du phénomène. La magnitude M des séismes est donnée par l'échelle dite de Richter (1935), qui en avait d'abord proposé la définition empirique sur un sismographe étalon. La définition actuelle utilise l'amplitude maximale du mouvement au sol à une distance donnée de l'épicentre : elle est indépendante de l'observateur et est reliée, doublement, à l'intensité maximale à l'épicentre et à la profondeur du foyer.

Essentiellement, la magnitude se rattache à l'énergie libérée, par une formule de type logarithmique. Ceci signifie que la relation arithmétique entre magnitudes modérées ($M = 4$) et fortes magnitudes ($M = 8$) correspond en réalité à un rapport de puissances où le million devient l'unité de compte. A titre de référence, la

bombe H la plus puissante (Nouvelle-Zemble, URSS 1961) atteignait 57 mégatonnes de TNT, voisine des plus fortes énergies sismiques constatées.

En fait, si l'échelle de Richter sert de référence au plan proprement scientifique, il convient de raisonner, au plan pratique, sur les échelles d'intensité MCS (Mercalli, Canceni, Sieberg), MM (Mercalli modifié) et MSK, la plus récente, (1964), dont le sigle groupe les initiales Medvedev, Sponhauer et Karnik. Cette échelle comporte douze degrés, la gradation correspondant aux effets ressentis ; en un mot, il s'agit d'une échelle du danger pour l'homme et ses constructions.

L'échelle MSK n'est pas très différente de l'échelle de Richter pour les petits degrés (jusqu'à 5) ; c'est ainsi que le degré 3 définit une « secousse ressentie par quelques personnes à l'intérieur des habitations ; vibration des vitres et balancement d'objets » ; le degré 4 est perçu comme une vibration : fenêtres, portes et assiettes tremblent. Au degré 5, la secousse est ressentie par toute la population d'une localité : de nombreux dormeurs s'éveillent. Les animaux sont nerveux. Les objets suspendus connaissent un large balancement. On perçoit la vibration comme celle d'un objet lourd tombant dans le bâtiment. Il n'y a pas encore de dégâts véritables, sauf très sporadiquement (sur défaut d'arrimage des objets).

De 6 à 10, l'échelle MSK fait apparaître les dégâts aux habitations, en les classant :

– par leur nature :

1^{er} degré : fissuration et chute de débris, plâtres

2^e degré : fissuration des murs, chutes de tuiles, fissuration et chute de cheminées

3^e degré : lézardes larges et profondes dans les murs

4^e degré : brèches dans les murs, effondrements partiels, destruction de cloisons intérieures

5^e degré : effondrement total de la construction

– par type de construction

Type A : – maisons en argile, en pisé, en briques crues (« adobe »)

– maisons rurales, constructions en pierres ordinaires (galets, etc.)

Type B : – constructions en briques ou en blocs de béton ;

– constructions mixtes en maçonnerie et bois ; constructions en pierres taillées

Type C : constructions armées et bonnes constructions en bois

Apparaît aussi le taux d'impact, c'est-à-dire le nombre de bâtiments endommagés, répartis en trois classes : quelques-uns (5 %), beaucoup (50 %), la plupart (au-delà de 75 %). Dans cette gamme d'intensités MSK de 6 à 10, la perception humaine du séisme correspond à des sensations particulièrement fortes.

Dans le zonage sismique de la France, le degré VI est intitulé par la Direction des Risques Majeurs : « frayeur ». De nombreuses personnes effrayées se précipitent en effet vers l'extérieur. Les animaux domestiques s'échappent de leur stalle. Le mobilier lourd peut se déplacer. Des dommages au 1^{er} degré sont fréquents dans les bâtiments du type A, et commencent à apparaître dans quelques bâtiments du type B.

Le degré VII correspond à des dommages sensibles aux constructions : de nombreux type A sont endommagés au 3^e degré, voire au 4^e degré ; pour le type B, on note de nombreux dommages du 2^e degré : les bâtiments type C commencent

à être touchés. Beaucoup de personnes ont de la difficulté à rester debout. La vibration est ressentie par des conducteurs d'automobiles. De grosses cloches se mettent à sonner. Des joints de canalisation sont endommagés.

Le degré VIII amplifie les effets précédents : les bâtiments type C atteignent le 2^e voire le 3^e degré d'endommagement. Quelques bâtiments du type B atteignent le 3^e, voire le 4^e degré. De nombreux bâtiments type A sont endommagés au 4^e, voire au 5^e degré. On note un peu partout frayeur et panique. Des branches d'arbres cassent. Les monuments et statues se déplacent ou tournent sur eux-mêmes. Il y a des crevasses au sol de quelques centimètres. L'eau des lacs devient trouble. Le débit des sources varie notablement.

Au degré IX, les dommages aux constructions sont généralisés, avec une nouvelle progression dans l'échelle « glissante » type de construction/nature des dégâts. La panique est générale. Les animaux courent dans toutes les directions et poussent des cris. Dommages considérables aux réservoirs au sol ; rupture partielle des canalisations souterraines. Des routes sont endommagées ; parfois des rails de chemin de fer sont pliés.

Au degré X, les ouvrages d'art (ponts, barrages, digues) sont endommagés, les canalisations sont rompues, les voies de chemin de fer sont déformées (accidents de convois ferrés « en route »).

On ne note qu'exceptionnellement les degrés XI et XII, où la déformation du terrain est importante, les bâtiments même « bien construits » subissent des dommages sévères. Il existe, naturellement, en milieu urbain, des facteurs aggravants, qui sont souvent liés à la rupture des canalisations de gaz, à l'allumage d'incendies violents et rapidement migrants. Le cas ne s'est pas exactement présenté à ce jour, en Méditerranée ; mais il faut insister sur l'idée que l'urbanisation croissante représentera pour l'avenir, des risques multipliés en cas de séisme.

Le zonage sismique s'efforce de classer les régions, suivant le niveau de l'aléa.

Un grand nombre de pays méditerranéens adoptent la présentation suivante :

- zones de sismicité négligeable : notation sismicité « O »
- zones de sismicité faible : notation sismicités Ia et Ib
- zones de sismicité moyenne : notation sismicité II
- zones de sismicité forte : notation sismicité III.

La forte sismicité est identifiée selon les critères suivants :

- existence ou non d'événements historiques d'intensité égale ou supérieure à 8 ;

- « temps de retour » d'événements d'intensité 8, inférieur ou égal à 250 ans ; et/ou temps de retour d'intensité 7 inférieure à 75 ans.

On dispose dans ce but des relevés historiques qui font apparaître les événements sismiques en quelque sorte « ponctuels », que l'on étend géographiquement par un « lissage », prenant en compte les connaissances actuelles sur la sismo-tectonique des régions.

Le zonage du risque, c'est-à-dire la division du territoire en « zones de sismicité » à l'intérieur desquelles l'aléa sismique peut être considéré comme uniforme, conduit lui-même à la définition de règles pour la construction parasismique.

Dans un certain nombre de pays de l'Ouest méditerranéen (dont la France), on a adopté, pour les règles « PS 69 » (actualisées PS 92), les dispositions suivantes :

On prend pour donnée de base la répartition des ouvrages en « classes de risque » en fonction de leur destination. La classe O comprend les ouvrages dont la défaillance ne représente qu'un risque minime pour les personnes ou l'économie. La classe A groupe les ouvrages ou installations offrant un risque dit « normal » pour la population (habitations, bureaux, usines, etc.) La classe B se rapporte aux ouvrages présentant un risque élevé du fait de leur fréquentation ou de leur importance socio-économique (écoles, stades, salles de spectacles, etc.) La classe C représente les ouvrages et installations dont la sécurité est primordiale pour les besoins de la protection civile et la survie de la région (hôpitaux, casernes, centraux téléphoniques, etc.).

Les codes de calcul anti-sismique du bâtiment, basés anciennement sur un coefficient d'intensité « alpha », utilisent désormais une accélération nominale exprimée en « g » (accélération de la pesanteur), conformément au tableau suivant :

Zones de sismicité	Classe des bâtiments		
O Sismicité négligeable	A	B	C
Ia Très faible sismicité	0,10	0,15	0,20
Ib Faible sismicité	0,15	0,20	0,25
II Sismicité moyenne	0,25	0,30	0,35
II Forte sismicité	0,35	0,40	0,45

1.2. Deux exemples d'impact sismique : Skopje et Le Caire

Le tremblement de terre est certainement le plus meurtrier de tous les risques naturels. La chronique historique le démontre, avec l'énumération sèche des bilans, exprimés en nombre de victimes. Encore faut-il ici distinguer les décès et les pertes d'intégrité physique, qui sont également graves car les blessés – qu'il faut compter en dizaines (ou plusieurs dizaines) de fois le nombre des morts – souffrent parfois d'incapacité physique irréversible.

Les pertes humaines sont essentiellement dues à l'effondrement, total ou partiel, des immeubles et habitations. A cet égard, la construction moderne, où l'on joue sur des ossatures béton et acier, limite évidemment, quand elle est bien conçue et réalisée, ces impacts directs (la catastrophe de Kobe au Japon en 1995, amène à être prudent dans cette affirmation). Mais il faut bien voir que le « cœur ancien » des villes, notamment en Méditerranée, rassemble encore beaucoup de constructions de technologie ancienne, qui sont plus vulnérables.

Cette notion de vulnérabilité s'étend aux réseaux, qui permettent la circulation essentielle des services vitaux dans les villes (eau, électricité, téléphone, en même temps que voies d'accès).

On s'en fera une idée plus précise sur deux études de cas.

- l'une concerne le tremblement de terre souvent qualifié d'emblématique de Skopje en Macédoine ;
- l'autre concerne l'Égypte avec le récent séisme du Caire.

1.2.1. Le séisme de Skopje (1963)

L'étude menée par MM. Petrovski, Milutinovic et Arsovski, de l'Institut d'ingénierie des séismes (IZIIS) de Skopje, met en évidence un certain nombre de leçons tirées de l'événement sismique de cette ville, le 26 juillet 1963.

Ce séisme, assez unique dans les annales en Europe et en Méditerranée, pour l'ampleur de ses destructions (perte d'environ 15 % du produit national brut de l'ancienne Yougoslavie pour l'année 1963), a déclenché une prise de conscience d'ampleur internationale.

Le Bassin de Skopje, circonscrit par la ligne de crêtes des montagnes environnantes, est à peu près aussi large que long, d'une surface de 2 100 km². Skopje occupe environ 1/10^e de cette zone ; sa longueur est de 33 km et sa largeur s'agrandit vers l'Est jusqu'à un maximum de 10 km.

L'histoire de Skopje, et de la région du Vardar, est connue comme ayant été riche d'événements sismiques, modérés à forts, de longue antiquité. La chronique historique indique que le choc le plus violent fut celui de Scupi (qui se situait à 4-5 km au Nord-Ouest de la ville actuelle) en l'an 518 : on a noté une fissure, mesurant jusqu'à 4 mètres de large, sur 45 km de longueur. Le séisme de 1555 détruisit une bonne partie de Skopje. Pour le séisme de 518 comme pour celui de 1555, on a pu citer le chiffre d'intensité de XII MCS (peut-être un peu surestimé).

Le 26 juillet 1963, la ville de Skopje a été frappée par l'une des plus sévères catastrophes de son histoire : 1 070 citoyens ont péri ; 3 000 personnes ont été sévèrement blessées, sur une population un peu supérieure à 10 000. Au moment du séisme, la ville entière était en ruines, sur un sol en constant mouvement. En fait, c'est tout le territoire de la Macédoine (25 700 km²) qui a été secoué, avec des intensités variant entre V et IX MCS, rarement IV. L'intensité du séisme a été également ressentie à Sofia (Bulgarie) à une distance de 195 km. On dispose aussi d'observations d'intensité III à Titograd (186 km) et Belgrade (323 km). Ainsi, l'aire sur laquelle le séisme s'est manifesté atteint 180 000 km².

Les caractéristiques suivantes du séisme sont basées sur des valeurs lissées d'observatoires européens et américains, en notant que les magnitudes des séismes d'Asie Mineure et de la Péninsule balkanique sont quelque peu sous-estimées par les Américains et surestimées par les stations sismologiques d'Europe Centrale. Magnitude : 6,2 ; Intensité à l'épicentre (MCS) : IX ; Energie libérée : de l'ordre de 10²² ergs.

En dehors des pertes de vies humaines – et des blessés –, les dommages au parc immobilier ont été énormes. Sur la zone résidentielle plus de 80 % des résidences ont été détruites ou lourdement endommagées. Environ 75 % des habitants se retrouvèrent sans domicile. Seuls 19,7 % des maisons restèrent intactes ou légèrement endommagées, c'est-à-dire, suivant les critères habituels, utilisables immédiatement après le séisme. Plus de 67 % des maisons d'habitations n'étaient plus utilisables immédiatement après le séisme, dont 11 % détruites ou effondrées partiellement. Les édifices publics ont été très touchés, notamment :

- Les écoles primaires : huit bâtiments détruits sur 17 300 m², 12 bâtiments endommagés sur 50 000 m² ;
- les écoles secondaires : 11 bâtiments détruits (31 000 m²).

- Les universités, particulièrement les facultés d'Économie, d'Agriculture, de Droit et de la Forêt.
- Les bâtiments de culture physique et sport : 31 bâtiments (9 000 m²).
- Les bâtiments à usage médical et les hôpitaux : neuf polycliniques et deux locaux chirurgicaux détruits ; tous les autres bâtiments endommagés
- L'assistance sociale et la protection de l'enfance : 12 bâtiments détruits (6 000 m²) et 37 endommagés, (12 600 m²).
- Les bâtiments publics et bâtiments d'État : neuf bâtiments détruits (45 400 m²).
- les autres bâtiments d'utilité publique, détruits ou si endommagés qu'il a fallu les abattre plus tard : Banque Nationale ; Théâtre macédonien, Mairie de Skopje, etc.
- les bâtiments historiques : un certain nombre de mosquées et la « Caravans Sarai » historique, ont été entièrement détruits.

En ce qui concerne les bâtiments à usage industriel, les dommages subis furent relativement moins sévères, pour deux raisons. La zone industrielle se situe dans les faubourgs de la ville, à une plus grande distance de l'épicentre et les constructions correspondantes étaient mieux adaptées pour résister au choc sismique. Seules quelques constructions, (hautes cheminées, hall d'exposition de la Foire, quelques hangars à usage industriel), furent démolies. Les autres bâtiments industriels ont supporté le séisme en ne subissant que peu ou pas de dommages.

Les structures élevées en béton armé, les structures impliquant de l'ingénierie (usines, moulins, ponts, barrage, installations souterraines, chaussées d'auto-oute, trains, etc.), qui n'avaient pas été conçues pour résister aux séismes mais avaient fait l'objet d'une conception soignée pour des conditions « normales », ont subi peu de dommages. Deux barrages en béton armé près de Skopje n'ont subi aucun dommage.

Le pavage des rues et les trottoirs, le réseau électrique, le réseau d'eau et assainissement, ont été endommagés, mais pas de façon véritablement sérieuse. En fait, le réseau d'alimentation en eau et quelques lignes téléphoniques souterraines ont pu être endommagés par les bâtiments effondrés et autres débris.

De façon générale, les murs en maçonnerie de brique ont souffert beaucoup plus que les autres types de construction et sont responsables du plus grand nombre de morts. La construction « mixte » a également beaucoup souffert. Les vieilles structures en adobe, surtout celles disposant d'un chaînage de bois, ont résisté au choc, non sans dommage mais bien mieux que la maçonnerie de brique ou la construction mixte. Les ossatures en béton n'ont souffert que de faibles dommages : deux petites structures seulement se sont effondrées. Les structures élevées, jusqu'à 15 étages, se comportèrent bien mieux, en fonction de la fréquence spécifique du séisme. Elles avaient été construites avec soin ; dans certains cas, les forces du vent avaient été prises en compte dans l'architecture.

Les conditions de sol de Skopje sont intrinsèquement convenables et ne peuvent être tenues pour responsables des dégâts que la ville a connus.

L'architecture de type moderne, à l'exception des bâtiments à murs porteurs en maçonnerie de brique, s'est montrée le plus souvent adéquate. En fait, il s'est avéré que les méthodes modernes du dessin architectural n'ont pas été suivies de

méthodes aussi avancées dans la pratique de construction et le choix de la qualité des matériaux.

La qualité extrêmement variable des matériaux et des pratiques de construction se montre plus importante que l'absence d'un parti architectural de résistance aux séismes. Considérant que les structures ont été conçues pour des conditions statiques et que les matériaux et les pratiques de construction étaient – il faut l'admettre – en dessous de la moyenne, les bâtiments à ossature de béton armé se sont plutôt bien comportés. Le séisme de Skopje a prouvé, une fois encore, que l'accélération maximale des séismes peut être très élevée. Il a été également prouvé que les dommages causés dépendent non seulement de cette accélération (PGA), mais aussi de beaucoup d'autres paramètres, telles que la durée du mouvement, le « paquet » de fréquences de ce mouvement, la capacité de résistance structurelle, la géométrie du bâtiment, les matériaux et la qualité de la construction. En d'autres termes, les dégâts occasionnés par le séisme, résultent de paramètres liés entre eux : l'amplitude de l'accélération n'est que l'un de ces paramètres.

La connaissance des intensités et des modes de mouvements du sol dans la zone de Skopje, basée sur les observations microsismiques faites immédiatement après la catastrophe et sur des études de glissement et retournement « d'objets typiques » dans différents secteurs de la ville, permettent de déduire que le PGA a pu varier entre 0,3 et 0,42 g. Depuis lors, un très important réseau de stations de mesure de « mouvements forts » a été installé dans cette zone. Ce réseau fut l'une des composantes d'un projet régional UNESCO/PNUD qui s'est développé de 1970 à 1976 (Survey of the Seismicity of the Balkan Region) puis de 1980 à 1984 (Seismic risk reduction in the Balkan Region).

1.2.2. *Aléa sismique en Égypte*

Deux catastrophes d'origine sismique ont frappé récemment l'Égypte. Il s'agit d'abord du séisme de Kalabsha, le 14 novembre 1981. Le séisme a eu une magnitude de 5,5 ; son épicentre se situait à 60 km d'Assouan, et il fut fortement ressenti dans cette ville et vers le Nord jusqu'à Assiout, et vers le Sud jusqu'à Khartoum au Soudan. L'importance de cet événement était évidemment liée à la proximité du lac Nasser (barrage d'Assouan), point névralgique pour l'économie du pays.

L'intensité à l'épicentre a été de VII à VIII. Plusieurs fissures ont été notées sur la rive Ouest du lac, ainsi que des chutes de pierres et fissures mineures sur la rive Est. La plus grande de ces fissures avait 1 m de largeur, sur 20 km de long. Le séisme a été précédé de trois chocs antérieurs ; et suivi d'un grand nombre de répliques. On estime que la profondeur de l'hypocentre était très faible, entre 0 et 10 km pour fixer les idées.

L'événement sismique le plus grave a été celui du 12 octobre 1992, séisme dit de Dahshour, dans la région du Caire (à 20 km du centre ville) qui a ainsi connu la plus grande catastrophe sismique de son histoire. La magnitude, estimée à partir d'un grand nombre de stations du réseau, a été de 5,2 (+/- 0,2). Le séisme a provoqué la mort de 593 personnes et plus de 6 000 blessés. Les dommages aux bâtiments ont concerné 14 000 structures, y compris des écoles et des monuments

historiques. On a noté deux cas d'effondrement total, avec beaucoup de morts et blessés. Les répliques ont été nombreuses.

Il est clair que la longue période de retour des séismes en Égypte a longtemps retardé le plein développement de l'application de règles de construction parasismique dans ce pays. Le séisme de 1992 a eu, à cet égard, un rôle déclenchant pour une accélération des procédures.

Dans le rapport de l'Institute of Civil Engineering britannique relatif aux structures résistantes aux catastrophes, A.S. El Nashai fournit les indications suivantes :

Les antécédents historiques ne sont pas très nombreux. Le cas du séisme du 8 août 1303 est important, parce qu'il implique un phénomène affectant la Méditerranée. En Égypte même, on situait l'épicentre au sud du Caire, causant de graves dommages sur différentes églises et mosquées, dommages s'étendant en vallée du Nil jusqu'à Qus, au Sud. Au Nord, à Alexandrie, où une grande partie de la ville et le phare de 120 m de haut s'effondrèrent. En fait, l'histoire montre que les dommages s'étaient étendus jusqu'à Rhodes et Heraklion en Grèce. On estime que les ondes sismiques, engendrées par des séismes au Sud de la Grèce et au large de l'Égypte, se déplacent vers le Sud, avec très peu d'atténuation, en raison de la « nature intacte » du manteau. Ceci explique l'effet normalement fort des séismes en provenance de ces régions.

De 1900 à 1992, une cinquantaine de séismes de magnitude égale ou supérieure à 4 dont une dizaine de magnitude comprise entre 5 et 6, ont été enregistrés sur l'ensemble du territoire égyptien, souvent sur des territoires peu peuplés – ce qui peut faussement donner à croire, dans l'opinion commune, que l'Égypte a une faible sismicité. Ce n'est pas le cas.

Sur le plan tectonique, l'Égypte est affectée par le conflit de plaques axé sur le « rift » de la mer Rouge et ses extensions au Nord, vers Suez et la faille transformante du Levant, elle-même marquée à l'Est par la progression de la plate-forme arabique. On sait d'autre part que la progression de la plaque africaine vient en forte compression sur l'arc hellénique. On possède peu d'informations sur les manifestations intra-plaque, du fait de la faible densité du réseau de mesures en Égypte.

La vulnérabilité du parc immobilier, au Caire notamment, est liée à la grande diversité des modes de construction. L'ancienneté de la ville est attestée par les monuments historiques de la période pharaonique et des périodes suivantes, coptes puis islamiques. Il y a ainsi une mosaïque de bâtiments anciens. En dehors du Caire-central, une localité comme Nazlet Al Semmom, près des Pyramides est typiquement constituée de constructions « amateur » (non-engineered) avec quelques additions récentes de structures en béton et ciment armé.

Le matériau le plus largement utilisé est la maçonnerie de pierres avec un mortier de chaux ; l'épaisseur des murs est de l'ordre de 0,5 m, pour garder de la fraîcheur dans les maisons durant l'été. Les structures du type « amateur » sont encore utilisées dans de nombreuses parties du Grand Caire, sous la forme de maisons en brique de terre sèche, par exemple au voisinage des terres agricoles, comme dans le district de El Mohandseen, où les bâtiments modernes de grande élévation côtoient les habitats primitifs construits pour une famille. L'état de ces

constructions « amateur » est, en général, meilleur que celui des constructions de même type en vieille ville.

Les habitations construites selon les règles de l'art (engineered) utilisent, le plus souvent, des structures en maçonnerie et béton armé ; il y a peu de structures en acier, à l'exception des usines dans les secteurs périphériques. Un système de structure très communément utilisé est le bâtiment à plusieurs étages, en colonnes et dalles de béton et ciment armé, qui présente l'avantage de la versatilité et du dégagement d'espace. Ce type de structure est essentiellement conçu pour soutenir des charges verticales, avec une résistance minimale aux effets transverses dus à la poussée du vent sur les bâtiments élevés ; le code des pratiques de construction n'a introduit les critères sismiques qu'à partir de 1989.

On notera que l'exigence architecturale de grands plans ouverts et de balcons en cantilever conduit à de fortes contraintes sur les colonnes. Qui plus est, la plupart de ces bâtiments comportent en rez-de-chaussée et au premier étage, des magasins, entraînant la suppression de cloisons mitoyennes, avec comme conséquence une distribution irrégulière des résistances longitudinales et des planchers « mous ».

La répartition des bâtiments du Grand Caire est de l'ordre de 25 % pour les bâtiments à structures en colonnes de béton armé, presque toujours non résistantes aux séismes. Le plus grand nombre (36 %) est construit en maçonnerie avec planchers de ciment armé. Les structures en préfabriqué sont en faible minorité. Ceci signifie que, même si les structures béton armé étaient conçues pour une résistance latérale aux séismes, quelque 75 % du parc immobilier resteraient très vulnérables.

1.3. *Les parades au risque sismique*

Les caractéristiques générales du risque sismique : apparition aléatoire, manifestations espace-temps désordonnées, énormité des énergies mises en jeu, ont des conséquences évidentes sur l'efficacité des parades possibles. On peut, cependant se fixer un objectif de réduction des conséquences, en jouant sur trois plans distincts :

- la protection individuelle peut être très améliorée par l'acquisition des « bons réflexes » utilisables lors de la survenance du séisme ;
- la protection collective conduira à « éviter » dans la construction des agglomérations urbaines, les zones dangereuses, déterminées *a priori* par un microzonage précis ;
- la protection des infrastructures, et particulièrement des habitations et locaux à usage social, consistera, en bonne part, à renforcer les architectures par l'application des codes de construction, et toutes dispositions constructives améliorant la qualité du bâti. Également, on pourra jouer des formules de résistance « en souplesse », en aménageant certains dispositifs « élastiques » dans les fondations.

On voit là diverses portes ouvertes à la recherche sur le double plan de la science et de la technologie. C'est ainsi que pourraient se développer, d'une part des modèles physico-mathématiques, tendant à la prévision (modèles tri-dimen-

sionnels) à partir de nouvelles mesures en réseau ; d'autre part, des technologies de détection et réaction instantanées où l'automatisation, soutenue par l'électronique, permet de suppléer les moyens humains, insuffisamment rapides et performants.

1.3.1. Possibilité de prévision de l'aléa sismique

Le problème de la prévision opérationnelle des phénomènes tectono-sismiques est aujourd'hui objet de controverses nées, pour une part, d'une ambiguïté sémantique.

Il faut entendre par prévision une connaissance anticipée de la date et du lieu de tels événements. Force est de constater que « l'état de l'art » ne permet pas, à la différence des événements proprement hydrométéorologiques (pluies diluviennes et inondations), de prévoir au sens précédent l'occurrence d'un séisme. Mais il convient de mentionner l'effort de recherche très important, mené dans ce domaine par les géophysiciens et également, désormais, les physiciens eux-mêmes.

Le principe des « prévisions statistiques » se fonde sur l'analyse des séries temporelles de tremblements de terre enregistrés dans le passé, pour en déduire des fonctions de répartition probabiliste, récurrentes et donc extrapolables sur le futur. Malheureusement, ces approches stochastiques sont discutables : l'échantillon des données disponibles est éventuellement trop petit ou trop court ; et on peut fondamentalement s'interroger sur la nature de la « mémoire » des événements sismiques, aux échelles considérées. Le cas d'El Asnam (deux séismes consécutifs en 1954 et 1980) est indicatif à cet égard.

En fait, les analyses des événements du passé, convenablement interprétées, permettent un « zonage » qui est précieux pour l'application de règles de construction parasismique.

Les axes de la recherche « déterministe » concernent à la fois la dynamique fondamentale de la croûte terrestre, animée par les mouvements du magma et révélée par la tectonique des plaques ; et les manifestations superficielles traduisant une modification de la stabilité.

On trouve ainsi des avancées dans le traitement statistico-dynamique des données archivées de séries sismiques (Keilis-Borok). La cartographie des « sources » et failles à partir des données géologiques et extensométriques les plus récentes, obtenues par satellites-laser et désormais, grâce au GPS géodésique, permet la localisation très fine des éléments significatifs d'une faille, avec la précision du centimètre. Enfin, on citera certaines corrélations spatio-temporelles entre les « sursauts » du champ électrique et l'occurrence des mouvements sismiques enregistrés en Grèce par l'équipe dite « VAN », qui sont encore objet de controverses scientifiques.

La théorie du « seismic gap » – interruption momentanée d'une série de séismes, interprétée comme un temps de relaxation, précédant une nouvelle « montée en puissance » – est un thème d'étude souvent repris.

Dans un domaine proprement naturaliste, on s'intéresse aussi aux manifestations surprenantes de certaines catégories d'animaux – animaux domestiques ou animaux sauvages, vivant normalement dans des cachettes souterraines. Plutôt

qu'à un sens « divinatoire », on peut imputer ces manifestations à une perception fine de divers changements physiques en cours, éventuellement micro-sismiques, ou l'émission de certains gaz anormaux.

1.3.2. *Protection des infrastructures : le génie parasismique*

La notion classique d'infrastructure se rapporte aux ouvrages d'art et aux bâtiments d'usage individuel ou collectif. Dans l'optique moderne, s'agissant des infrastructures urbaines, on groupe ces éléments avec les « réseaux vitaux », qui sont les réseaux d'eau potable et d'assainissement, d'énergie (électricité et gaz domestique) et de télécommunications (ordinairement : le téléphone) de pair avec les voies d'accès incluant désormais les terminaux aéroportuaires.

Les installations correspondantes doivent être conçues dans un plan d'ensemble, où l'architecture urbaine se veut défensive, avec un parti pris d'ouverture sur l'extérieur (facilité de l'évacuation et de l'accès des secours), de déconcentration des zones sensibles (zones d'activité) et de protection renforcée des zones « d'utilité publique » – y compris hôpitaux, écoles, centres de gestion administrative et technique.

Une stratégie générale est proposée dans le chapitre III. Dans la pratique, une conception idéale ne peut être appliquée que partiellement, à l'occasion des projets d'urbanisme en extension dans les secteurs périphériques de la ville. Mais il est bon d'imaginer suffisamment à l'avance les développements correspondants qui iront de pair avec la progression démographique, rappelée plus loin à propos des besoins en eau des populations méditerranéennes.

La protection du bâti est essentielle pour « monter » les plans d'urbanisme, comme elle est essentielle pour la sécurité individuelle. Les démarches d'ingénierie correspondantes (génie parasismique), tendent à imposer à l'échelle nationale des codes de constructions, qui définissent, par le calcul, l'architecture générale du bâtiment, en fonction de la nature de ses fondations et des matériaux utilisés.

Pour assurer une certaine résistance sismique à un ouvrage, on définit un mouvement sismique de référence du sol et on spécifie d'une part les méthodes de calcul à employer pour décrire les comportements de l'ouvrage soumis à ce mouvement, d'autre part les limites admissibles des contraintes et/ou des déformations.

Les codes parasismiques nationaux applicables aux constructions usuelles prennent en compte des mouvements forfaitaires définis selon les zones géographiques : les méthodes de calcul et les limitations en contrainte étant spécifiés, les dimensionnements sont automatiquement imposés. Les problèmes de décision concernent donc les mouvements forfaitaires jusqu'ici définis par consensus d'experts.

En ce qui concerne les ouvrages importants et mettant en cause la sécurité des collectivités, on recommande généralement une vérification à deux niveaux.

Un premier mouvement sismique de référence est choisi avec une probabilité de dépassement assez élevée, par exemple 0,01 par an, et l'on spécifie un comportement élastique pour assurer la permanence économique de l'ouvrage. Pour un deuxième mouvement plus fort, à probabilité de dépassement plus faible, on

admet certains dépassements de limites élastiques sans mettre en cause l'équilibre général ni la permanence des fonctions de sûreté.

A l'occasion de la construction des centrales nucléaires, susceptibles de nuisances importantes à l'environnement, le choix des mouvements sismiques de deuxième niveau, dit « de sûreté », a donné lieu des développements importants. Dans une première phase, on a perfectionné la démarche habituelle des codes parasismiques, qui détermine dans chaque cas un niveau de calcul lié au site : c'est l'approche déterministe. Avec l'approfondissement des préoccupations de sûreté et l'essor des théories de la décision, on a cherché à expliciter le processus en séparant l'exposé sur l'aléa sismique de celui sur les conséquences.

L'évaluation de l'aléa sismique est une tâche complexe (Absi, 1995). Une équipe pluridisciplinaire composée de chercheurs et d'ingénieurs est nécessaire pour mener à bien toute une série d'analyses techniques. Les analyses sont menées sur trois échelles : globale, régionale et locale.

- *A l'échelle régionale*, l'aléa sismique représente la possibilité pour cette région d'être soumise à une secousse sismique de caractéristiques données. La définition de l'aléa sismique impose donc de résoudre les trois problèmes suivants :

1. la définition des lieux d'occurrence de futurs séismes, soit l'identification de sources sismiques locales et plus lointaines ;
2. la caractérisation de l'activité de ces sources, en particulier la loi de distribution des événements dans le temps et la loi de distribution des magnitudes (faisant éventuellement intervenir la notion de séisme maximum possible par source ou zone sismique) ;
3. l'estimation des effets susceptibles d'être engendrés, passant par la modélisation de l'atténuation de l'énergie rayonnée depuis les sources locales et environnantes.

A cette échelle, les méthodes probabilistes d'évaluation de l'aléa sismique permettent d'établir des cartes où apparaissent les courbes d'isovaleurs des paramètres suivants :

1. probabilité annuelle de ressentir en un site une secousse d'intensité supérieure ou égale à une valeur donnée (intensité macrosismique, accélération maximale, vitesse maximale, etc.), généralement exprimée par son inverse, soit la période de retour de l'événement considéré ;
2. intensité de la secousse pouvant être atteinte ou dépassée sur le site pour une période de temps donnée ou une probabilité fixée par avance.

- *A l'échelle locale*, c'est-à-dire à une échelle significative par apport à l'emprise du bâti, l'aléa sismique traduit les effets prévisibles de cette secousse sismique en un site particulier, en fonction de ses caractéristiques topographiques et géologiques propres.

A cette échelle, la définition de l'aléa sismique nécessite :

1. la modélisation de la réponse dynamique prévisible des terrains à des secousses sismiques dont les caractéristiques (origine, intensité, durée, mécanisme à la source, etc.) sont fixées en fonction du contexte défini précédemment ;
2. l'identification précise des éventuelles failles actives affectant le site et l'évaluation des déformations tectoniques en surface pouvant leur être associées.

Les études entreprises pour atteindre ces objectifs sont qualifiées de microzonage sismique.

1.4. *Le risque volcanique*

Les volcans méditerranéens, en mer Tyrrhénienne et dans son voisinage immédiat (Etna, Stromboli, Vésuve, Vulcano, toujours actifs) et en mer Égée (Santorin) représentent une singularité de l'affrontement tectonique Afrique-Eurasie et sont liés plus particulièrement en Italie du Sud, au grand phénomène d'orogénie de la péninsule (les îles Lipari, centre d'activité volcanique, se situent dans le prolongement de l'arc des Apennins).

La mécanique de l'éruption du volcan doit être recherchée au niveau du magma profond qui, par certains effets de « pincement », peut remonter vers la surface, par un conduit qui s'appellera finalement la « cheminée ».

Dans cette évolution verticale, la pression diminuant, les gaz occlus entrent en effervescence et propulsent littéralement le magma vers l'évent qui est ainsi créé – ou éventuellement les événements, comme c'est le cas sur l'Etna, où l'on observe des centaines de cônes adventifs.

Les matières sortantes accumulées (laves et débris), se déposent alors généralement en forme de cône, représentation traditionnelle de la géométrie des volcans. L'empilement de ces strates atteint plus de 3 300 mètres dans le cas de l'Etna. On note la présence de dépôts de soufre – les sulfatares – sur les bords de cratères ne dégageant plus que de l'eau-vapeur et de l'hydrogène sulfuré (îles Lipari, Pouzzoles).

Le magma se présente à des températures de fusion de l'ordre de 1 200 °C ; sa composition est essentiellement à base de silicates (cf. le mica), mélangés à des substances minérales diverses, matériaux ferriques, etc.

De manière générale, les volcans se caractérisent par la nature de leurs émissions et des produits rejetés.

Parmi les grandes catégories recensées dans le monde (type hawaïen, péléen, strombolien et vulcanien), deux se rapportent précisément aux volcans de la mer Tyrrhénienne.

Le cratère du volcan Stromboli dans les îles Lipari, contient une lave fluide très bouillonnante, qui traduit la turbulence des gaz occlus. Cette turbulence provoque des éjections de pierres (pierre ponce et lapilli à grains plus fins).

En contraste, le Vulcano des îles Lipari dispense une lave très visqueuse, qui se solidifie en formant un bouchon. Celui-ci peut exploser sous la pression des gaz et être alors pulvérisé en cendres, formant un haut panache vertical.

C'est bien, de manière générale, l'émission de lave qui constitue la manifestation première du volcan. La lave est un magma de pierres fondues, où l'on trouve du basalte, très fluide et très dense – la lave basique –, et des rhyolites, légères et pâteuses – la lave acide.

A très haute température, voisine de 1 000 °C, la lave incandescente s'écoule à des vitesses qui peuvent atteindre les 10 m/s. On peut reprendre à son sujet, l'expression traditionnelle : la « vitesse d'un cheval au galop ». C'est le danger sans doute le plus fréquent (cf. l'Etna) sans omettre les risques graves des pluies

de cendres, de projection de matériaux « pyroclastiques » et d'émissions gazeuses nocives, observées épisodiquement. Naturellement, la coulée de lave détruit tout sur son passage.

Le volcan personnifie, en quelque sorte, le risque méditerranéen où se côtoient la beauté des paysages et l'intensité redoutable de la menace.

Si l'aléa physique est, en ce cas, bien circonscrit dans le périmètre tyrrhénien, les enjeux sont toujours importants : ils concernent notamment, les habitations et les cultures sur le flanc de l'Etna ; et l'ensemble fortement urbanisé proche du Vésuve. Les éruptions violentes de l'Etna sont assez fréquentes. Celles du Vésuve beaucoup plus espacées, la dernière ayant eu lieu en 1944.

Il faut admettre que, hors des tentatives récentes, en partie réussies, du blocage ou déviation de la coulée de lave par l'interposition de cubes de béton (apportés par hélicoptère) sur les flancs de l'Etna, la véritable parade consiste à évacuer les populations de la zone menacée.

Une telle évacuation pose, *a priori*, des problèmes logistiques redoutables ; elle implique une bonne maîtrise de la prévision de telles éruptions, sous une forme qui ne peut, à ce jour, être totalement « déterministe » (par modèles numériques) mais qui se basera, avec un niveau de fiabilité désormais assez élevé, sur la manifestation de « signes précurseurs », dont il conviendra d'apprécier la cohérence, en fonction notamment, de l'expérience passée.

Ces signes précurseurs sont de plusieurs ordres :

(i) les « tremors », secousses sismiques répétées d'intensité généralement faible, traduisant l'accroissement des interactions violentes au sein des couches inférieures,

(ii) les effets physico-chimiques variés allant de l'émission de gaz plus spécifiques (changement de composition des fumerolles) à la modification des champs électro-magnéto-telluriques périphériques.

(iii) des déformations de la paroi conique du volcan

On fera état, sur le point (i), des exemples restés classiques, comme celui de février 1933, où l'Observatoire du Vésuve enregistra plus de 1 600 secousses, dont une seule atteignit le degré VI de l'échelle des intensités, et une trentaine l'intensité V ; mais, en ce cas, l'expulsion de laves fut apparemment bloquée au niveau du cratère ; l'éruption fut donc très modérée.

La frontière entre tremblement de terre et secousse volcanique est, en réalité, assez floue, comme l'a montré le tremblement de terre de l'île d'Ischia, près de Naples et Pouzzoles, qui fit en 1883, 1 300 victimes dans la petite ville de Casamicciole sur les flancs du volcan Eponeo, éteint depuis l'an 1302. On notera de même que, de façon encore imparfaitement explicable, des tremblements de terre assez intenses peuvent se produire sur le flanc de l'Etna (Val del Bove), parfois plusieurs semaines après une éruption.

Sur le point (iii), le phénomène de soulèvement, lié à l'activité du magma, qui est reconnu de longue date (« bradyseisme » de Pouzzoles, estimé à 75 cm en un mois en 1983), est désormais susceptible de mesures systématiques sur toute la géométrie du cône par des capteurs *in situ*, du type extensomètre (dilatation superficielle) et du type inclinomètre (mesure de la pente) ; en même temps que des capteurs *ex situ*, par télémétrie satellitaire. Il s'agit, en ce cas, de la technique

GPS (Global Positioning System), mise en œuvre par la constellation des 24 satellites correspondants. La précision de la mesure est de l'ordre décimétrique, voire centimétrique en configuration dite « géodésique » du système GPS, et permet donc d'apprécier la déformation générale du cône, qui devient sensible aux derniers stades précédant l'émission, sous la forte poussée magmatique.

L'ensemble de tels moyens donne une garantie de qualité aux rapports de surveillance du célèbre Observatoire du Vésuve, et de son antenne technique pour l'Etna.

Des événements récents, dans d'autres parties du monde (Philippines, Caraïbes), ont confirmé la gravité de la menace volcanique, qui joue non seulement sur l'atteinte directe aux personnes, mais aussi à leur propriété (habitation ; installations artisanales ; cultures). Dans le cas du volcan du Pinatubo, aux Philippines, et du volcan la Soufrière sur l'île de Monserrat, la pluie de cendres a été particulièrement dommageable sur une grande étendue.

Le problème posé par l'évacuation préalable des populations menacées met en évidence, de façon parfois dramatique, la difficulté du dialogue entre les scientifiques, qui annoncent l'événement et son évolution, et les gestionnaires, qui doivent prendre une décision, mettant en balance, d'une part, le souci de préserver l'intégrité physique des habitants de la zone et d'autre part, de maintenir leurs moyens de vie associés à leurs activités traditionnelles. S'y ajoute, naturellement, le facteur émotionnel pour ceux qui doivent abandonner leur horizon habituel et leurs foyers.

Les scientifiques ne peuvent parler qu'en termes de probabilité, fonction, elle-même de l'échéance considérée. Les gestionnaires demandent des indications le plus parfaitement « déterministes ». Il y a là parfois source d'incompréhension, conduisant à des controverses : ceci se produisit, en son temps, à la Soufrière de l'île de la Guadeloupe, où « l'enjeu » portait sur un groupe de population important.

On voit bien que « l'enjeu » est d'un ordre de grandeur très supérieur dans le cas du Vésuve, proche de l'agglomération de Naples, où quelque 500 000 personnes pourraient devoir être évacuées en cas d'éruption importante. Toute décision d'évacuation doit donc être pesée avec beaucoup de soin, en considération de l'aléa, mais aussi des problèmes logistiques qui se présentent pour le départ – nécessairement échelonné – de la population de centres urbains à forte densité.

Face à de tels problèmes, il convient de mettre beaucoup d'espoir dans les progrès de la recherche, passant de la signalisation rapprochée sur précurseurs observés, à la prévision de type déterministe sur modèles numériques géophysiques.

2. Le risque hydrométéorologique : Inondations et glissements de terrain

Le risque hydrométéorologique est en réalité double, parce qu'il réunit le risque de pluies diluviennes et le risque de débordement des cours d'eau en crues lentes, dites « tranquilles » ou en crues brutales, dites « torrentielles ».

Les pluies diluviennes constituent, par elles-mêmes, un facteur de danger, par la possibilité de ravinements excessifs sur les pentes, de submersion partielle des habitations en zone urbaine, et d'entraînement de flots de boue occasionnant parfois des morts.

Ce cas extrême, qui a été constaté en plusieurs zones du littoral méditerranéen, établit une liaison plus générale avec les glissements de terrain, que les pluies fortes répétées peuvent déclencher, en modifiant l'adhérence des couches de sol superficielles.

Les glissements de terrain constituent effectivement un risque induit, souvent lié au phénomène de crue torrentielle (on parle aussi d'inondation-éclair ou « flash flood »), qui se déroule en peu de temps – mais avec des intensités exceptionnelles – dans un secteur d'orographie très découpée, vallée encaissée en petit bassin, mais parfois aussi quand l'inondation prend la forme d'un ruissellement abondant dans un site « ouvert », à pente réduite – mais favorisant la convergence, puis l'accélération des flux (Sfax 1982, Nîmes 1988).

2.1. *Genèse du risque hydrométéorologique*

L'eau dans l'atmosphère provient essentiellement de l'évaporation des océans, mais cette unité d'origine n'entraîne pas d'unité de répartition à l'échelle du globe, du fait que la circulation des masses d'air, très différenciée par suite des inégalités de la température des mers et de la rugosité des continents, distribue cette humidité, entre-temps partiellement convertie en nuages, de façon extrêmement variable suivant les régions. Il se crée ainsi des zones d'appauvrissement, et des zones de fortes concentrations de la teneur en eau, souvent sous forme de « fronts », qui sont des lignes de convergence ou de cisaillement, propices aux accumulations nuageuses.

C'est ainsi que la Méditerranée connaît à la fois la sécheresse accentuée des zones arides ou pré-désertiques au Sud et à l'Est, et l'apport d'eau des masses d'air d'origine atlantique, traversant d'abord l'Europe Occidentale, qui en retient une partie, notamment sur les reliefs montagneux de la péninsule ibérique et des Alpes.

Le fait frontal, particulièrement en évidence dans la saison d'hiver et dans l'inter saison été-hiver qui comportent les pics pluviométriques caractéristiques du climat méditerranéen, intervient de deux manières :

- d'une part, de façon directe, par la cadence des invasions des perturbations atlantiques « décrochées » du front polaire (on appelle ainsi la limite septentrionale de la circulation Ouest-Est des latitudes tempérées) ;
- d'autre part, par la réactivation des masses d'air instables pénétrant sur le Bassin.

Ce phénomène est lié au contraste thermique entre mer et atmosphère, qui a pour effet, au-delà du processus constant de l'évaporation maritime, de provoquer une puissante convection, introduisant une composante cette fois verticale, de la circulation des particules d'air. Cette composante verticale transporte effectivement de l'eau dans la profondeur de la masse d'air, déterminant ainsi une forte concentration nuageuse puis pluvieuse, dans un système « emboîté » où l'on reconnaît :

- le « cœur », froid et instable, avec des nuages à structure verticale, très pluvio-gènes, générateurs d'averses souvent orageuses : les « cumulonimbus » culminant à très haute altitude (leur partie supérieure est composée de particules de glace) et s'agrégeant souvent en cellules (ou « amas ») par effet local de convergence ;

– les (alto) stratus d'air plus chaud, en strates horizontales – comme leur nom l'indique – entourant la masse froide centrale, et engendrant des précipitations de pluie continue.

L'enchevêtrement complexe des deux sous-systèmes « froid » et « chaud » se place dans une enveloppe de pressions relativement basses – dépressions fermées – qui peuvent, selon le cas, stationner jusqu'à dégradation ultime (c'est parfois le cas des dépressions du golfe Ligurien, qui se présentent comme un tourbillon stationnaire de Karman « sous le vent » de la chaîne alpestre) ou migrer dans le flux général d'échelle synoptique, à travers la Méditerranée.

De tels mécanismes se rencontrent plus souvent sur les zones riveraines du Nord de la Méditerranée occidentale – Espagne, France, Italie – parce que les masses d'air de l'Atlantique proche (le golfe de Gascogne) atteignent ces zones en trajectoire pratiquement directe ; mais également sur les zones côtières d'Algérie et de Tunisie (inondations de Sfax en 1982). On les retrouve aussi, quoique moins fréquemment, en Méditerranée orientale, comme le montre le cas de la Grèce, en janvier 1997.

Le deuxième mode d'accumulation de précipitations correspond à un « blocage » de perturbations frontales successives sur une dorsale anticyclonique mobile (qui peut coïncider, en certains cas, avec la dorsale orographique des Alpes). Une situation de cette nature a engendré les inondations de 1994 dans la basse vallée du Rhône et le delta de la Camargue.

Les taux de précipitation enregistrés dans de telles circonstances peuvent atteindre des valeurs comparables à celles des pays tropicaux soumis au régime instable de mousson, comme en témoigne le tableau ci-après.

Précipitations exceptionnelles en Méditerranée

La Llau (Pyrénées-Orientales, France)	: 1 200 mm/24 h (en 1940)
Valleraugue (Gard, France)	: 950 mm/24 h (en 1900)
Vallée de l'Orba (Gênes, Italie)	: 554 mm/8 h (en 1953) dont 115 mm/1 h
Ancinale (Calabre, Italie)	: 397 mm : 10 h (en 1935)
San Cristina d'Aspromonta (Calabre, Italie)	: 1 495 mm/72 h (en 1951) avec des précipitations du même ordre en Sicile et en Sardaigne.

A Salerne (Italie) en 1954, on a enregistré 150 mm en 1 heure.

Les extrêmes du Bassin oriental sont tant soit peu inférieurs à ceux du Bassin occidental. On a enregistré des maximums de 297 mm et 438 mm en un jour (septembre 1978) sur les hauteurs voisines de Larissa en Grèce, toujours en situation de « retour pluvieux » du quadrant Est.

L'explication de tels records tient en bonne part à l'emboîtement des échelles de la circulation de l'air, que l'on classe en « échelle synoptique » à la dimension de maille géographique de l'ordre de 150 km – en correspondance avec des échelles de temps de l'ordre de la journée – ; et « échelle mésosynoptique », où la dimension de maille, très sensiblement inférieure à 50 km, s'associe à des intervalles de temps d'évolution où l'heure devient l'unité de compte.

A l'échelle inférieure, le couplage des événements inter-échelles introduit des facteurs d'amplification, selon le cas, proprement aérologiques (convergence des flux) ou orographiques (soulèvement par le relief interposé, avec variantes).

Sur la cause météorologique première, vient se greffer le facteur hydrologique, déterminé par le ruissellement de l'eau sur les pentes du bassin versant de ce qui deviendra le cours d'eau en crue.

En fait, la conversion de la lame d'eau météorologique en lame d'eau hydrologique n'est pas simple.

Il y a, d'abord, la concentration de la précipitation sur un secteur étroit, de l'ordre de quelques kilomètres carrés, avec extension « longitudinale » (suivant l'axe des vents « porteurs ») lorsque le cumulo-nimbus pourvoyeur d'eau défile sur la zone géographique concernée. La statistique montre que la pluie « centennale » – presque toujours synonyme de catastrophe – atteignant ou dépassant 200 mm en un jour, est essentiellement « efficace » pendant les trois heures où la moitié de ce total tombe au sol.

L'évolution de cette quantité d'eau est très dépendante de la nature du couvert végétal et de l'état initial d'humidité du sol, très variable.

On situe, à cet égard, l'importance du déboisement, mais il y a, bien entendu, les terres à pâture, les pistes de ski, et de manière générale, toutes les interventions humaines qui peuvent favoriser une absorption diminuée (réduction de la couche d'humus) et un ruissellement accentué, – et ceci va de l'aménagement sylvo-pastoral aux chemins de montagne et à l'urbanisation.

L'effet au niveau du cours d'eau inférieur, est considérable. Au terme d'un calcul simple, on constate que ce cours d'eau, supposé de capacité très moyenne, débitant par exemple 300 000 mètres cube par heure, peut connaître un apport sensiblement double, de l'ordre de 600 000 mètres cube.

Les conséquences seront d'autant plus redoutables que la géomorphologie de la zone favorisera par sa pente la vitesse de concentration de l'eau ruisselée. La forme même des parois du bassin versant pourra jouer dans le mauvais sens (forme « en raquette » ou « en cirque »), déterminant un « pic de décharge » plus pointu.

C'est enfin au niveau du cours d'eau lui-même que les éléments morphologiques interviendront, en fonction de la résistance de telle ou telle partie de son lit – et, à cet égard, il faut souligner le caractère impérieux d'un entretien convenable de ce lit et de ses berges, évidemment en période de basses eaux, ainsi que l'élimination des obstacles à l'écoulement susceptibles de le bloquer temporairement.

L'ensemble de ces effets, lorsque leur conjonction apparaît du fait de circonstances malheureuses, se traduit par une accélération violente du flux du cours d'eau en cause, collectant sur son passage des petits affluents, qui peuvent être eux-mêmes soumis à un ruissellement fort et connaître une crue torrentielle. Le « pic » d'une telle crue torrentielle générale se traduira par la formation d'un « front de crue », qui – selon certains auteurs – aura le caractère d'une onde de gravité, dotée d'une célérité supérieure à la vitesse mesurée du flux – un rapport de l'ordre de 1,5 fois cette vitesse est cité.

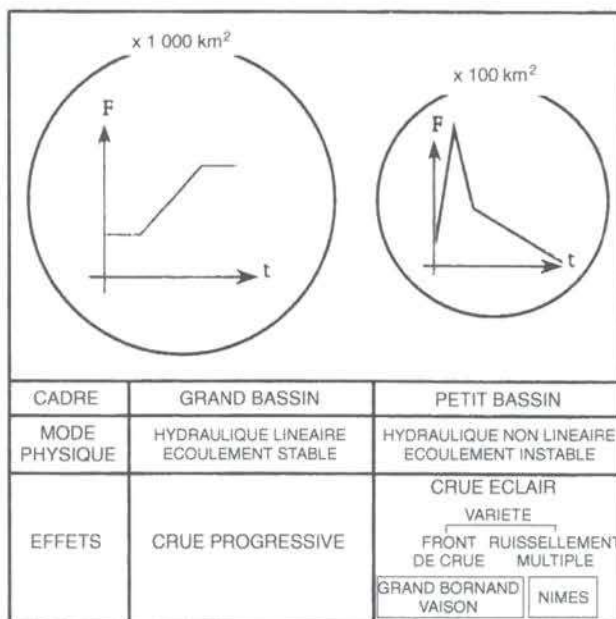
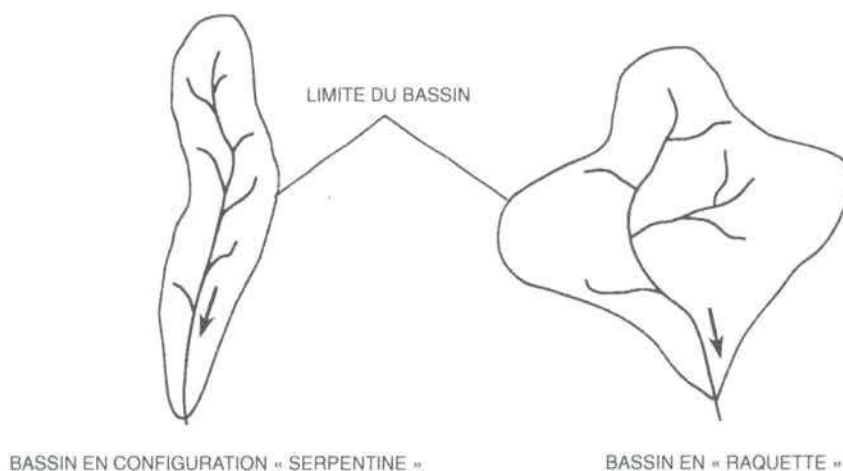
Figure 4*Typologie des fortes crues selon les bassins (flux en fonction du temps)*

Schéma de présentation des typologies de crues torrentielles



La morphologie du bassin a son importance dans la « fabrication » des plus fortes crues.

La configuration de gauche donne des pics de crue généralement adoucis.

La configuration de droite se prête davantage à interférences de flux capables de donner lieu à des fronts de crues de pente raide (« mur d'eau »).

Un exemple frappant de ce type de phénomène est constitué par la catastrophe de Vaison-la-Romaine, en Provence française (1988) où les ordres de grandeur de la précipitation précédemment évoqués ont été atteints, avec des conséquences physiques spectaculaires : ruissellement profond (entailles de l'ordre du mètre) sur certaines pentes du massif des Pré Alpes ; embâcles puis débâcles sur les petits affluents de l'Ouvèze, rivière moyenne, qui a grossi brutalement, avec une sur-cote de l'ordre de 7 mètres au Pont Romain, qui relie les deux parties de la ville (à noter que ce pont a résisté alors que le pont moderne a été détruit). Les conséquences en ont été graves, avec une quarantaine de morts et la destruction des habitations situées dans la partie inondable du lit (lit majeur).

Le même type de phénomène a été enregistré en 1995 dans la vallée de l'Ourika au Maroc, où le nombre des victimes a été beaucoup plus élevé, probablement en raison de la méconnaissance de l'aléa torrentiel par divers résidents de ce site de villégiature.

On a fait les mêmes constatations lors de la catastrophe de Biescas, dans les Pyrénées aragonaises où un camping, situé là encore dans le lit majeur de la rivière, fut totalement dévasté, en août 1996, avec perte de nombreuses vies humaines.

Les relations pluie-débit sont très différentes suivant la forme et la dimension des bassins, comme le montrent la **figure 4** et le tableau suivant des crues extrêmes en Méditerranée à conséquences catastrophiques.

Bassin	Date	Superficie Km ²	Débit de pointe (m ³ /s)	Coefficient de Francou *
Tech (Pyrénées-Orientales) France	1940	382	3 400	5,4
Gardon (Gard, France)	1890	1080	4 500	5,3
Orba (Ligurie, Italie)	1935	141	2 200	5,4
Ancinale (Calabre, Italie)	1935	135	2 050	5,4
Oued Zeroud (Tunisie)	1969	8 950	17 050	5,6
Jucar (Espagne)	1864	17 260	10 000	4,8

* Règle empirique assez bien vérifiée donnée par J. Francou, pour le calcul des débits de pointe.

On fait apparaître dans ce tableau les « petits » bassins, de superficie inférieure à 1 000 km², ainsi qu'un bassin « moyen », dépassant la dizaine de milliers de kilomètres carrés dans un cas assez exceptionnel en Nouvelle Castille, au Sud de Valence.

2.2. Une étude d'impact : Nîmes

On raisonne ici sur l'événement de « crue/ruissellement torrentiel » survenu à Nîmes dans le Gard, en France, au mois d'octobre 1988, étude de cas comparable à des catastrophes survenues sur les côtes italiennes et espagnoles, ou encore Larissa en Grèce en septembre 1978 ou dans le Péloponnèse en janvier 1997.

2.2.1. L'événement

L'hydroclimatologie du Sud-Est français est liée à deux types de phénomènes :

- l'advection d'humidité, c'est-à-dire de masses d'air assez riches en vapeur d'eau et nuages susceptibles de précipiter, en provenance soit de l'Atlantique, soit de la Méditerranée ;

- l'amalgame (ou la confluence) des masses nuageuses ainsi transportées, au sein des systèmes qui les régénèrent et amplifient leur développement, en provoquant leur précipitation plus ou moins continue.

Ce mécanisme est particulièrement marqué lorsque se produit avec l'intersaison été-automne, la première arrivée, en régime d'Ouest à Nord-Ouest, de masses d'air dit « polaire maritime » (c'est-à-dire atlantique) à des latitudes nettement plus basses, tandis que, par un effet de « mousson », les masses d'air maritime méditerranéen viennent à leur rencontre, en régime du Sud à Sud-Est. C'est le phénomène dit « des pluies cévenoles » qui est à l'origine des records pluviométriques en France. Dans le cas du 3 octobre 1988, la situation comme celle de Vaison-la-Romaine quatre ans plus tard, est tout à fait typique, et s'est reproduite de nombreuses fois dans le passé.

L'advection de masses d'air pluvieuses venues essentiellement de la Méditerranée, s'est traduite par la formation d'un individu pluvio-orageux, qui a défilé lentement sur les bassins versants de 50 km² dominant la ville de Nîmes et l'ensemble de l'agglomération, en fin de nuit et en matinée.

La quantité totale d'eau précipitée est connue par les relevés, malheureusement incomplets, de trois stations. La précipitation a dépassé partout 300 mm ; le pluviomètre du mas de Ponde, situé sur la crête, a même débordé 420 mm. L'intensité moyenne a été relativement régulière, de l'ordre de 50 mm par heure, avec des maxima ponctuels qui ont certainement approché 100 mm ; les intensités fortes se sont maintenues pendant près de six heures.

Il est à noter, que de telles valeurs de la pluviométrie ne sont pas absolument exceptionnelles ; on a observé, cette même année 1988, 313 mm en une heure et demi, le 30 mai, dans les Pyrénées-Orientales ; et, peu de jours après la catastrophe de Nîmes, 223 mm en deux heures dans le Gard, à Saint-André de Roquepertuis, dans une zone heureusement peu habitée.

Il faut mentionner, en ce cas comme dans le cas de Vaison 1992, la forte activité orageuse, qui, d'une part, confirme le caractère d'instabilité convective très intense de la perturbation ; et, qui, d'autre part, a eu des conséquences sur le fonctionnement d'un certain nombre d'équipements (caténaires SNCF hors d'usage ; panne de radar météorologique).

Les bassins versants dominant Nîmes, qui ont reçu la précipitation (superficie 50 km², faisant partie du bassin du Vistre de 600 km² environ), sont constitués par un karst assez fissuré, sillonné par des « cadereaux », appellation locale de petits ruisseaux généralement à sec. Les précipitations abondantes des jours précédents qui avaient déjà imbibé les sols, et l'importance de la précipitation expliquent le fort ruissellement, avec temps de concentration très réduit : le coefficient de ruissellement a pu atteindre 0,9 alors que 0,4 constitue une base de calcul « normale ».

Les calculs d'écoulement, prenant en compte la dénivelée de 150 à 200 m (hauteur de crête), à une distance de 4 à 5 km de l'entrée de l'agglomération dont

l'altitude varie elle-même de 30 à 50 mètres, ont estimé un débit de l'ordre de 1 000 m³/s, avec des vitesses de l'ordre de 4 m/s et fortes turbulences qui, plus que la hauteur d'eau atteinte, ont été la cause essentielle des pertes de vies humaines et des dommages matériels.

2.2.2. *Les impacts*

La catastrophe a tué dix personnes, dont 8 entraînées par la violence du flot, et deux noyées dans un parking souterrain.

Une trentaine de logements individuels ont été détruits à l'amont de la ville, parce qu'ils étaient construits dans les lits de cadereaux – et beaucoup de petites constructions ont été plus ou moins dégradées dans ces zones. Il n'y a pas eu d'immeubles détruits dans la ville même, mais le niveau des eaux qui ont inondé les sous-sols et une partie des rez-de-chaussée, a entraîné des dégradations généralisées du second œuvre (revêtements, menuiseries, électricité, chauffage) d'au moins un millier de logements et de très nombreux locaux professionnels. Par ailleurs, de très nombreux biens mobiliers ont été perdus, tant dans les rues (1 655 voitures détruites) que dans les immeubles et surtout les sous-sols.

Les ouvrages publics ont eux-mêmes subi des dégradations importantes, notamment les voiries, les réseaux divers, et les installations souterraines ; le patrimoine monumental a été, heureusement, peu touché.

Le montant des sinistres est estimé au total à 3,3 milliards de francs, dont 1,4 milliard pour les services publics, 1 milliard pour les biens particuliers et 0,9 milliard pour les activités.

2.2.3. *L'eau et la ville*

En dehors du problème de l'alerte à « échéance nulle » qui sera repris plus loin, le cas de Nîmes amène d'abord à revoir l'ensemble des solutions techniques déjà adoptées pour diminuer la vulnérabilité aux écoulements.

Le premier principe est le maintien du libre écoulement des eaux pluviales dans les cours d'eau et thalwegs. On parle de « miracle » en constatant qu'il n'y a pas eu de morts dans les maisons construites dans le lit des cadereaux. L'intérêt collectif commande que l'on interdise désormais les constructions au fond des thalwegs et que cette interdiction soit effectivement respectée : le rapport du Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC) recommande à cet effet, l'acquisition des terrains dans le cadre d'un projet d'intérêt général avec affectation des emprises en « emplacements réservés » dans les plans d'occupation des sols (échange avec des terrains voisins déjà acquis dans la commune/ou autre formule).

Maîtresse de ces terrains, la collectivité pourrait les aménager en forme d'espaces verts, avec possibilité de stationnement (parkings) en dehors de la partie submersible, maillage de la circulation vers des issues non submersibles, organisation de l'alerte et de la gestion de l'événement, etc.

Une deuxième voie à suivre concerne la lutte contre l'imperméabilisation des bassins versants. Cette imperméabilisation par les bâtiments et les infrastructures a pour effet d'accroître les coefficients de ruissellement et donc d'accélérer les écoulements des eaux et d'aggraver les débits reçus en aval. Il apparaît bien que

les gabarits des ouvrages de franchissement des cours d'eau et thalwegs à l'aval, sont désormais insuffisants alors qu'ils ont été calculés correctement dans le passé, parce qu'en amont l'urbanisation a depuis lors imperméabilisé trop de surfaces.

Un troisième point concerne la création de réservoirs. Il s'agit d'abord de bassins de retenue pour limiter les débits liquides et capter les débits solides en amont des urbanisations : ces retenues collinaires ne sont pas d'un coût élevé et ne posent pas, en général, de problèmes difficiles sur le plan foncier. Naturellement, ces bassins de retenue n'auront qu'un effet limité sur les débits de pointe. Mais le temps de concentration apparent au droit de l'agglomération se trouvera augmenté et ces bassins réduiront les apports solides susceptibles d'affecter la capacité d'écoulement des ouvrages souterrains aval, et surtout de leur entonnement (de manière générale, la capacité de débit des ouvrages souterrains devra être augmentée).

Il s'agit aussi d'un stockage aval pour protéger les agglomérations voisines contre l'accroissement des débits d'eau pluviales résultant de l'urbanisation de la ville (pour Nîmes, on évoque la nécessité de ne pas aggraver la situation actuelle sur le bassin de la Vistre : de très grands bassins de stockage sont prévus).

Le deuxième volet des leçons tirées de la catastrophe de Nîmes concerne les moyens juridiques et réglementaires. L'arsenal réglementaire français comporte une prescription dite « plan des surfaces submersibles » (PSS), venant en complément des dispositions pertinentes du Code de l'urbanisme du Plan d'exposition aux risques Inondations (PERI).

Le Plan des surfaces submersibles a une finalité plus spécifique. Il soumet à autorisation tout projet de constructions ou d'aménagements, ou même de plantations, susceptibles de gêner le libre écoulement des eaux ou de restreindre les champs d'inondation dans les zones qu'il a cru bon de définir. Il se préoccupe ainsi davantage des tiers que des utilisateurs ; des prescriptions spéciales peuvent concerner les règles de construction. Le Plan peut en outre, moyennant indemnités, obliger les propriétaires à modifier ou supprimer les installations gênantes, préexistantes à son approbation.

En matière d'assainissement pluvial urbain, la référence est la circulaire interministérielle dite Loriferne, en date du 22 juin 1977 qui concerne l'évacuation des eaux pluviales et usées ainsi que leur rejet dans les exutoires naturels sous des modes compatibles avec les exigences de la Santé publique et de l'Environnement.

L'actualisation de la « circulaire Loriferne » doit concerner un domaine plus large où l'aspect assainissement pluvial (qui ne se réduit pas à un réseau de canalisations) doit se conjuguer avec l'aménagement urbain, sous plusieurs angles :

- a) solutions préventives liées à la gestion des sols :
 - maîtrise et conception de l'urbanisation ; réduction des débits de ruissellement (stockage en surface ou dans le sol, ouvrages filtrants)
 - augmentation des durées de ruissellement (mini-bassins, dessins des caniveaux et des fossés, tracé des voies...).
- b) solutions curatives, liées au réseau d'assainissement :
 - déversoir d'orages, stockage en réseau ou dans des bassins de retenue, gestion automatisée, et enfin entretien.

En toile de fond, on voit apparaître l'importance croissante du traitement numérique des problèmes posés par la conception et la gestion des réseaux d'eau et d'assainissement ; ce traitement suppose une densité augmentée de données d'observations météorologiques et hydrologiques automatiques dans le périmètre urbain.

2.3. *Parades au risque hydrométéorologique*

On traitera essentiellement ici du risque des crues torrentielles en raison de leur caractère implacable, en rappelant toutefois que les crues dites « tranquilles » en grand bassin, à déroulement plus progressif dans le temps, justifient des contre-mesures générales de protection, à la fois par grandes infrastructures de barrages et endiguements et plus encore par réglementations effectivement respectées, adaptées du Droit de l'Eau.

Le gestionnaire du risque hydrométéorologique doit envisager en séquence temporelle : les dispositions préventives, notamment au niveau de la ville, la mise en place de moyens de prévision et d'alerte rapprochée, et enfin l'organisation des secours.

2.3.1. *Les dispositions préventives*

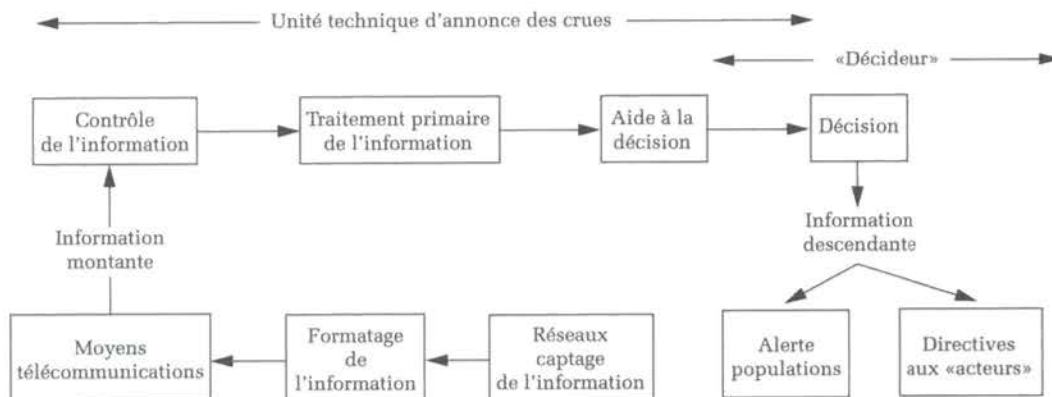
On a pu voir dans l'analyse du cas de Nîmes (1988), complété par le cas de Vaison-la-Romaine (1992), un certain nombre de points relatifs aux infrastructures proprement urbaines, que l'on rappelle ci-après.

Sur les causes des dommages, on incrimine d'abord le coefficient de ruissellement très élevé dans la ville : les solutions adaptées reposent sur une géométrie urbaine mieux conçue pour faciliter les écoulements, avec, si nécessaire, un bassin de retenue et des dérivations, en secteur amont. La pratique du recouvrement du lit des petits cours d'eau en milieu urbain est généralement à proscrire.

Dans le cœur ancien des villes, il n'y a pas en général, de véritables possibilités d'aménagement de « l'existant » du point de vue des écoulements. Les solutions se rapportent alors à l'aménagement des conduites d'évacuation de l'eau (pluie et assainissement) qui devraient être surdimensionnées vis-à-vis des normes actuelles, à proportion des effets de l'imperméabilisation des sols cimentés ou macadamisés en amont. Cette imperméabilisation devra nécessairement être limitée dans le futur, par le maintien d'espaces non couverts (« espaces verts ») et l'utilisation de revêtements « drainants », assurant l'infiltration de la pluie.

On garde aussi à l'esprit, la protection des ouvrages souterrains à l'usage du public, galeries marchandes, métro, parkings, qui ne disposent pas toujours des portes d'évacuation en nombre convenable (le cas de l'inondation massive des parkings qui s'est présentée à Nîmes aurait pu être très meurtrier).

Les aménagements souhaitables ne se limitent pas à l'architecture urbaine. Ils concernent aussi, en amont du site menacé, la réhabilitation des cours d'eau, dont les berges et le lit profond progressivement encombrés, constitueront, lors de la crue, une source de matériaux et de débris de toutes sortes pour la construction d'embâcles, puis la décharge brutale des débâcles. Ces aménagements ressortissent à un Droit de l'Eau, qui garantit la liberté des écoulements et qui est loin d'être suffisamment appliqué en Méditerranée.

Diagramme 2*Gestion de l'information de crise hydro-météorologique*

Il est toujours important de rappeler – et diffuser par tous les moyens d'affichage – les devoirs de tous les citoyens vis-à-vis d'un facteur de risque, qui est ainsi encore souvent négligé. Fondamentalement, les autorités responsables pourront, au niveau scolaire, attirer l'attention des élèves, puis des étudiants, sur les mécanismes de l'eau intervenant dans la vie civile, y compris les aspects éventuellement catastrophiques, qui résultent à la fois, des forces naturelles et de la négligence humaine.

2.3.2. La prévision rapprochée de la crue torrentielle

La prévision de crue torrentielle repose sur un avertissement précoce à partir d'un modèle mathématique-physique de prévision météorologique, indiquant une probabilité d'événements pluvieux dangereux sur une zone bien circonscrite, à échéance de 24 à 12 ou 6 heures à partir des informations du réseau-sol (données météorologiques/pluviométriques et hydrologiques *in situ*).

La difficulté principale dans l'utilisation d'une modélisation plus efficace aux très petites échelles de temps (inférieures à 3 heures) tient doublement aux obstacles rencontrés par la technique scientifique pour « descendre » à l'échelle véritablement locale, et par la technique opérationnelle, pour mettre en œuvre à ces deux échelles d'espace et de temps, les moyens de calcul capable de traiter les observations disponibles.

Par chance, les observations classiques des réseaux-sol se doublent désormais des observations non plus ponctuelles, mais valables pour des surfaces, où se déroule l'événement surveillé à partir des plates-formes satellites et radars, dont le regard est, en quelque manière, ubiquitaire.

Le radar est précieux parce qu'il couvre continûment une vaste zone (100 km de rayon est une portée typique des radars actuels) en trois dimensions d'espace (surveillance horizontale Plan Position Indicator – PPI, et recherche en site).

L'information classique du radar d'échos météorologique, présentée en termes d'hydrologie, dérive de relations empiriques du type Marshall-Palmer, sous la

forme $Z = AR^b$ liant l'intensité de l'écho – ou « facteur de réflectivité radar » – Z au taux de précipitation R .

Mais la dispersion des coefficients paramétriques (A et b) est importante dans le cas de pluies à caractère torrentiel déversées par un cumulo-nimbus ou un amas de cumulo-nimbus. Il devient alors assez aléatoire de chiffrer l'intensité pluviométrique d'un individu pluvio-orageux, dès lors que le « calibrage » par données du réseau-sol, toujours possible dans le cas d'une pluie stratiforme étendue (pour les trains de perturbations d'Ouest aux latitudes tempérées), n'est guère praticable en régime convectif, typique de la précipitation en Méditerranée, où les chances de disposer d'un capteur « à l'aplomb » du phénomène précipitant, sont notablement plus faibles.

Le radar d'écho renseigne bien sur l'emplacement de lignes et zones de précipitation et sur leur déplacement à l'échelle synoptique et mésosynoptique : mais sans pouvoir valablement prétendre à la précision hydrologique, s'il opère seul. La conjonction du radar et d'un réseau sol est donc toujours importante à cet égard.

La fonction « écho » peut avantageusement se doubler de la fonction « doppler », qui donne à partir d'un radar unique, la valeur de la vitesse de déplacement de la particule visée, en projection sur le vecteur radial radar-cible. Il faut donc deux radars en visions « croisées » pour obtenir la vraie valeur du vecteur-vitesse.

Cette considération est évidemment pénalisante du point de vue de la densité nécessaire du réseau de tels radars. Mais l'information « doppler » est, de toutes manières, très précieuse, pour observer la vitesse d'amalgame de cellules de cumulo-nimbus ainsi que la vitesse de progression « instantanée » du front pluvieux.

Ces données d'observation instantanée contiennent en elles-mêmes une information prévisionnelle, par extrapolation simple. C'est finalement, l'arme absolue de la prévision « à échelle nulle », lorsque le modèle mathématique devient incapable d'assurer la précision souhaitable.

On mettra, complémentaiement, les plus grands espoirs dans l'avenir opérationnel du satellite. Celui-ci transmet – pour l'heure – des informations en forme d'imagerie des masses nuageuses précipitantes. Les méthodes d'exploitation des images satellitales ont été notamment codifiées dans le cas des satellites géostationnaires, tels Météosat, qui couvre en particulier, la Méditerranée, à cadence mi-horaire.

Pour être totalement efficace, la méthode demanderait la réduction de l'intervalle de temps entre prises de vue sur la zone, en deçà des 30 minutes « nominales » du géostationnaire. Cette recommandation pourrait être prise en compte dans la nouvelle génération des satellites du type Météosat. On pourrait ainsi, en « syncopant » le rythme de balayage de satellite, suivre quasi-continûment l'évolution locale, lorsque la prévision régionale annoncera la probabilité d'un événement dangereux.

La bonne transmission des données radar et satellites est un élément essentiel d'utilisation de ces données. On peut l'envisager soit sous forme brute (niveaux de brillance) ou sous forme synthétique (réseau de courbes isohyètes, dans le cas du radar), en utilisant des techniques de compression de bande. Le système

Météotél français peut ici servir d'exemple, susceptible de nombreuses adaptations.

2.3.3. La prévision hydrologique

S'il devient possible de modéliser une prévision de « crue tranquille » sur grand bassin, car l'évaluation du transfert de la lame d'eau atmosphérique à la lame d'eau hydrologique peut s'accommoder, en première approximation, de formulations linéaires aux différentes étapes du processus, en revanche, une telle modélisation prévisionnelle n'est guère imaginable – du moins à ce jour – pour les crues torrentielles.

Il faudrait, en effet, modéliser en séquence :

(i) la répartition espace-temps de la précipitation, jusqu'à un certain point, erratique du groupement nuageux actif ;

(ii) le ruissellement de cette précipitation sur tous les secteurs, très inhomogènes (profil orographique, couvert végétal), du bassin versant ;

(iii) l'injection de cette eau (ruissellement direct, crues des petits affluents) dans le cours d'eau principal, et les conséquences sur le profil de l'onde de crue.

A la prise en compte numérique de la diversité des éléments qui interviennent en (i) et (ii), s'ajoute en (iii) un calcul d'hydrodynamique non linéaire qui est assez incommode.

Il faut donc avoir recours, soit à des approximations d'ordre stochastique, en utilisant les données de séries temporelles dans le passé, soit à des extrapolations simples à court terme, en utilisant les mesures les plus récentes (à l'échelle d'heure comme unité de compte).

Une formule empirique intéressante (Francou-Rodier) lie par un coefficient de proportionnalité le débit maximal du cours d'eau et la caractéristique de surface du bassin versant. Elle s'est appliquée assez correctement, par exemple, pour la crue de l'Oued Miliane d'octobre 1982, en Tunisie.

La pluviométrie elle-même répond assez bien aux très nombreuses formulations statistiques, comme la loi sur la fonction de répartition de Weibull. En pratique, on peut établir des courbes intensité – durée – fréquence suivant la formule de Montana, qui est utilisée en Provence, sous la forme $H = At^{1-b}$ ou H est la hauteur de pluie de durée t . Ces courbes montrent une cassure assez nette sur un point d'abscisse comprise entre 3 et 6 heures, ce qui implique deux ensembles de paramètres ($A1, A2$) – ($B1, B2$) pour les pluies longues et les pluies courtes.

La méthode statistique dite du « gradex », associée à « la droite de Gumbel », est largement utilisée en France ; elle a effectivement une valeur réelle pour caractériser les pluies extrêmes, s'agissant de bassins versants de surface inférieure à 500 km², où l'on se propose d'aménager des barrages écrêteurs.

Les modèles d'auto-régression à moyenne glissante, utilisant la technique des filtres de Kalman, sont particulièrement intéressants parce qu'ils incorporent une mise à jour automatique dans le fonctionnement du modèle.

Mais, en définitive, c'est bien à la signalisation qu'il faut avoir recours, pour détecter l'arrivée du phénomène le plus dangereux, sous la forme d'une « vague », qui va se propager d'amont en aval avec une célérité chiffrable à 1,5 fois, voire 2 fois, la vitesse de flux général.

Un réseau de limnigraphes, idéalement distants d'une dizaine ou une vingtaine de kilomètres, est la condition nécessaire pour être averti de la formation et de l'évolution du phénomène de « pic de crue » – sous réserve d'une bonne transmission « temps réel » par ligne téléphonique (vulnérable) ou par radio (y compris collecte par satellite), avec dépouillement dans un centre opérationnel équipé de moyens de calcul, d'ailleurs assez modestes (station de travail).

2.3.4. *L'alerte*

L'alerte est déclenchée sur prévision puis constatation du dépassement d'un certain nombre de seuils critiques, météorologique (précipitation sur zone) puis hydrologique (débit de crue sur le cours d'eau). Pour certains cours d'eau, la mise en place d'un Service d'annonce de crue (SAC) s'avère particulièrement justifiée.

On peut distinguer les phases suivantes d'une chronologie « à rebours » (à partir de l'heure H de l'événement catastrophique) de l'action du service de gestion de la crise :

- de H – 24 à H – 12 : avertissement météorologique indiquant une probabilité d'événements pluvieux exceptionnels à l'échelle régionale (sans localisation plus précise) ; le Service prend des dispositions préventives, en concertation avec les corps techniques appropriés.

- à hauteur de H – 6 : les confirmations de la météorologie synoptique (modèles de prévision et observations rapprochées) conduisent le Service à lancer un message d'alerte en direction des corps techniques : le public est tenu informé et reçoit des directives générales ;

- à partir de H – 3 : les données « immédiates » du réseau radar et des satellites, en complémentarité avec celles des réseaux-sol, sont les données de base pour la prévision dite « à échéance nulle » : l'échéance catastrophique est confirmée. On est passé de l'annonce de crue à l'alerte de risque d'inondation.

L'alarme, dont les dispositions ont été pré-décrites dans les « plans d'urgence » est communiquée en urgence maximale à la population entière par les responsables de la vie civile (maires, préfets, etc.)

Ceci suppose que le formalisme administratif classique soit assoupli et que les cellules de crise à fonctionnement « emboîté » aux différents étages de responsabilité, entrent en jeu sans délai.

Le problème majeur, parfois encore mal résolu, concerne la transmission de cette alerte aux populations en danger. Le réseau téléphonique, de manière générale, peut être mis à profit ; mais il est susceptible de connaître les défaillances en cas de forte perturbation météorologique sur zone.

La difficulté la plus grande concerne, comme l'expérience l'a démontré, en France, lors des crues de Nîmes (1988) et de Vaison-la-Romaine (1992), la possibilité pratique de joindre des personnes dispersées en dehors des sites proprement urbains, et au premier rang, les campeurs, qui constituent un élément important de la société moderne (les « non-résidents » temporaires). En climat chaud et particulièrement en été, il est logique de voir les campings s'établir le long des cours d'eau. Une réglementation assez stricte devrait permettre de doter ces campings d'une liaison radio avec un centre de sécurité civile propre. Une signalisation adaptée par panneaux devrait recommander les « bons réflexes »,

qui consistent à gagner les « points hauts » environnants, sur alerte diffusée. De même, une fiche illustrée décrivant le risque possible et les précautions qu'il appelle devrait être fournie à l'entrée à tous les visiteurs de ces sites inondables.

L'ensemble des liaisons radio devraient être conçues en réseau, avec relais imposé de point à point « en visibilité », lorsque l'on utilise les fréquences VHF. La réservation de certaines fréquences radio – et l'utilisation de la CB – Citizen Band – devraient constituer des précautions utiles pour la communication de crise. Il apparaît aujourd'hui que l'usage du téléphone mobile (ou portable), s'appuyant, soit sur des moyens de relais-sol de télécommunication, soit sur les constellations de satellites bas, représente un élément décisif pour l'alerte généralisée nécessaire en situation de crise.

2.4. *Les glissements de terrain*

En dépit de sa stabilité fondamentale, la partie superficielle de la croûte terrestre connaît des déformations et des mouvements, du fait de contraintes extérieures brutales et de l'évolution de sa résistance propre, qui est elle-même, liée à son homogénéité – parties rocheuses dures et terrains dotés d'une « fragilité » et d'une plasticité très variables d'un point à un autre.

On enregistre ainsi des effets très différents, qui vont de la chute brutale de pierres à partir d'un mur rocheux – une falaise, par exemple –, à l'affaissement lent par subsidence, pouvant parfois créer brutalement une cavité très ponctuelle ; et de la manière la plus générale – et la plus meurtrière – le glissement de terrain.

Les conséquences de ce phénomène finalement très répandu sur le pourtour méditerranéen, sont parfois dramatiques. En témoignent les catastrophes du Plateau d'Assy (France, 1979) faisant 70 victimes et, de façon quasi-récurrente, les glissements de terrains meurtriers de Turquie, d'Italie, d'Espagne. On a par exemple déploré quelque 1 200 morts par un glissement de terrain en Italie survenu en octobre 1963.

La contrainte extérieure, cause de tels glissements de terrain, peut être dans certains cas, le facteur sismique, entraînant la « liquéfaction » du sol ; le plus souvent, c'est l'accumulation d'eau née de pluies particulièrement persistantes et intenses dans un contexte géomorphologique « favorable ».

Sous l'angle de la géomorphologie, il convient d'identifier d'abord les propriétés mécaniques du terrain, découlant de la composition des matériaux, des arrangements de texture (disposition relative des masses) et de la structure (strates superposées, etc.) Une grande variété géologique peut être ainsi trouvée sur les pentes « exposées », dont la forte inclinaison est le premier facteur propice au déclenchement.

La secousse sismique a été souvent observée dans des tremblements de terre en Italie (Dolomites) comme cause de graves dommages aux bâtiments. Le phénomène de « liquéfaction » survient quand une couche sableuse avec important contenu d'eau, devient quasiment liquide par l'effet d'une secousse sismique et perd de sa résistance au cisaillement par la surpression de l'eau interstitielle entre les grains de sable. Des phénomènes complexes mêlant les mouvements de l'air et de l'eau dans le sol interviennent ainsi. Les grains de sable flottent à la dérive

immédiatement après la secousse, littéralement comme une eau boueuse : d'où le terme de liquéfaction, traduisant ce changement (transitoire) de l'état solide à l'état liquide.

La corrélation avec les précipitations est forte, et apparaît à l'évidence dans le cas des coulées de boue, qui se rencontrent, par exemple, dans les Pyrénées Orientales (Catalogne espagnole et France) ou dans des cas précis de glissements boueux en Italie du Sud (Sicile), à la suite d'averses intenses mais courtes. On considère dans les Cantabriques espagnoles, que l'évolution du relief au cours des 500 dernières années, pour certains secteurs comme le col de la Magdalena, a été affectée du moins pour moitié, par les glissements et les coulées, sans compter les chutes de blocs qui en sont la conséquence.

Les mesures faites en France (Alpes) et en Italie (Tessin) sur un certain nombre de sites soumis à glissements montre la dépendance du risque et du niveau piezométrique qui est lui-même mesurable par carottage.

Le temps de réponse peut être très variable : le glissement fait suite, de toutes façons, à des excédents pluviométriques ; on peut observer le phénomène même après des mois relativement secs, s'ils ont été précédés de mois, voire d'années, de précipitations abondantes. Le cas de précipitations diluviennes (au sens donné plus haut, c'est-à-dire d'intensité supérieure à 50 mm par heure, pour un total intégré de 200 mm sur un jour) entraînent une accélération instable comme on a pu le mesurer à La Clapière (en amont de la ville de Nice, Alpes-Maritimes) avec des valeurs de déplacement parfois supérieures à 4 mm/h de la strate instable.

La structure stratifiée du terrain intervient effectivement de façon importante. Dans le bassin du Trièves, près du village de Roissard, de nombreux glissements de terrain se produisent dans les argiles larvées glacio-lacustres. Le manteau colluvial superficiel perméable est un réservoir qui contrôle la fourniture de l'eau dans les fissures des argiles sous-jacentes. Les glissements ne se produisent qu'après saturation du sol entre les fissures. Il faut un à plusieurs mois de pluies hebdomadaires semi-continues pour saturer la zone fissurée et faire monter la nappe jusqu'à la surface. D'autre part, le drainage est très lent : après 5 jours « secs », la perte volumétrique en eau ne dépasse pas 10 %.

Dans le cas d'un glissement profond comme celui de Lavarò, le comportement visqueux des argiles dans la zone de rupture freine la vitesse du glissement en profondeur, qui ne dépasse pas 3 mm/h quand le niveau de la nappe profonde monte de deux mètres.

Ces observations situent la difficulté de la prévision, concernant la date probable de l'occurrence d'une rupture qui déclenche alors le mouvement de la strate la plus instable.

La première précaution à prendre face aux glissements de terrain possibles consiste en un zonage suffisamment précis.

La difficulté principale pour un tel zonage tient évidemment au critère d'instabilité. Celle-ci n'est pas, en général, identifiable par l'auscultation extérieure, et relève alors d'une appréciation fortement subjective (connaissances d'un terrain où des effets analogues ont été observés par des praticiens).

On utilisera les techniques du SIG (Système d'Information Géographique) pour établir des cartographies à différentes échelles (1/25 000 – méthode Zermos

française, comportant une cartographie parcellaire pour les sites déjà bien identifiés par des accidents précédents, jusqu'à 1/2 000 ou 1/5 000 pour certaines communes).

La prévision, sur un site instable donné, commence à acquérir une certaine fiabilité, soit à très court terme (quelques jours, quelques semaines) lorsque le phénomène est encore en régime quasi-stationnaire mais évolutif : prévisions à partir de l'état physique actuel et des précipitations journalières (données extensométriques et données météorologiques), soit en phase d'accélération finale avant la rupture, par ajustement de lois empiriques simples, permettant d'estimer l'instant précis de cette rupture (Durville).

Les parades les plus utilisées sont de deux ordres :

- d'une part, installer dans les sites les plus exposés, par exemple une zone d'habitation dense au pied d'une pente collinaire, un système avertisseur se composant, de manière générale, d'un réseau d'extensomètres et d'inclinomètres, d'un indicateur du niveau d'eau et de la pression interstitielle. Un logiciel gérant l'ensemble déterminera, d'après un « système expert », le niveau de risque et sa tendance mesurée ;

- d'autre part, procéder à des travaux d'ingénierie civile, qui peuvent aller jusqu'à l'arasement de certaines pentes mais que l'on réalisera plus souvent sous la forme de murs de retenue et murs d'encagement (maçonnerie, béton, blocs) – et d'ancrages sur le socle rocheux profond par tiges et câbles boulonnés ; blocage des chutes de pierre par grillage de fil de fer, etc.

Ces précautions seront utiles pour protéger une voie de communication, route, chemin de fer, etc. On n'exclut pas un dispositif automatique d'avertissement lumineux auto-déclenché pour interdire la circulation au-delà, c'est-à-dire, en zone d'éboulis dangereux.

2.5. Les avalanches

Les phénomènes avalancheux sont évidemment limités en Méditerranée aux secteurs montagneux les plus élevés, soumis en hiver aux précipitations de neige. C'est le cas du Massif alpin, de l'Atlas marocain, de l'Anatolie turque, ou du Mont Olympe en Grèce.

L'avalanche n'est autre qu'un glissement de terrain particulier, par l'effet de l'entraînement – sous son propre poids – de la masse neigeuse en excédent, et mal « soudée » aux strates inférieures. Le phénomène peut revêtir plusieurs formes, – la plus générale survenant pendant ou après de fortes précipitations neigeuses, où la neige poudreuse mélangée à l'air en aérosol, s'accumule en fort excédent sur les pentes. Un autre type d'avalanche est provoqué par un « redoux » thermique qui fragilise la couche de neige humide : la fonte des neiges au printemps participe du même principe physique. Il y a enfin les « plaques » déposées par le vent, « plaques à vent » instables dont le décrochage peut être déclenché par un événement « extérieur » de faible intensité (passage de skieur, par exemple).

Les avalanches sont responsables, chaque hiver, de la mort de skieurs, en nombre heureusement peu élevé, le plus souvent par imprudence (abandon des pistes sélectionnées comme sûres). Mais le risque devient important lorsqu'une

construction habitée se trouve dans le couloir avalancheux. La responsabilité, en ce cas, n'est pas nécessairement liée au non-respect des règles de construction en zone à risque ; les déformations successives des profils de la pente montagneuse, pour l'aménagement des pistes de ski ou à la suite de ravinements torrentiels en saison d'été, peuvent être à l'origine de la déviation des couloirs avalancheux traditionnels (le cas s'est présenté dans les Pyrénées Orientales, à la frontière de l'Andorre).

La protection des skieurs tient d'abord à une bonne connaissance de la prévision nivo-météorologique. Dans ce domaine, plusieurs pays alpins ont développé des modèles qui couplent la prévision météorologique proprement dite (passages frontaux) et la prévision nivologique, tenant compte à la fois de l'accumulation neigeuse sur les versants exposés, de l'état de cette neige et de son « embase » mesurés par des stations automatiques, relayées par le satellite météorologique géostationnaire Météosat.

On a développé des protections individuelles variées, qui vont du petit appareil radio portatif (à faible portée, mais suffisant pour être entendu, sous faible épaisseur de neige, par des sauveteurs proches) au petit ballon auto-gonflable pour signaler le point d'ensevelissement.

La réduction du risque avalanches a donné lieu à des initiatives originales (et parfois audacieuses). Notamment, le déclenchement d'une avalanche peut être signalé par un signal lumineux, sur la route traversée, déclenché par rupture d'un circuit électrique sur l'amont du versant concerné.

On mentionnera d'autre part les tentatives pour réduire le danger à la source, en déclenchant préventivement les avalanches, lorsque la masse neigeuse atteint ou dépasse un seuil critique dans une zone sensible. La méthode la plus courante consiste à utiliser des explosifs. On dispose désormais d'une méthode par propulsion d'un jet gazeux.

Enfin, il est intéressant de mentionner des études techniques récentes dans les Alpes françaises qui se proposent d'identifier à distance les avalanches d'un massif, en écoutant le bruit sismique (vibrations du sol) engendré par ce type de phénomène. Les résultats de telles recherches devraient être utiles pour augmenter la fiabilité des prévisions, encore partiellement basées sur les données proprement statistiques.

3. Risque climatique en Méditerranée : sécheresse et feux de forêts

Le mot « sécheresse » recèle une certaine ambiguïté selon que l'on y associe le terme « météorologique », c'est-à-dire l'absence prolongée et inhabituelle de précipitations avec, comme corollaires, la siccité accentuée de l'air, l'élévation concomitante des températures et du rayonnement solaire ; ou, d'autre part, le terme « hydrologique », c'est-à-dire la raréfaction des écoulements, à différentes échelles de temps ; et en corollaire, dans les deux cas, les conséquences du déficit hydrique sur les ressources en eau disponibles pour la vie agronomique et pastorale, et pour la vie urbaine.

Au-delà des difficultés sémantiques, il s'agit là d'un phénomène redoutable, peut-être le plus grave dans les affrontements Homme-Nature, et désormais au premier rang des préoccupations en matière de risques, notamment en Méditerranée.

Le bon sens et la statistique s'accordent pour estimer que la sécheresse hydrologique dépend directement du comportement de la sécheresse météorologique, avec des décalages liés aux modes d'écoulement, à l'intervention des nappes d'eau souterraine, etc., mais fondamentalement, il s'agit bien d'un problème de climat, au sens où la machinerie atmosphérique distribue les pluies avec une forte variabilité dans l'espace géographique et le temps – à plusieurs échelles, qui vont des effets inter-saisonniers aux effets pluriannuels.

Dans une région comme la région méditerranéenne, soumise dans ses parties Sud et Est à un climat plus ou moins aride, on peut considérer que la rareté de l'eau est une donnée de fait, de caractère structurel. Cependant, il ne faudrait pas y confondre le risque de sécheresse, de caractère conjoncturel, avec l'aridité. Ce risque est alors avant tout celui qui se manifeste de façon imprévue au cours de la saison de croissance des récoltes et des pâturages, par un déficit plus ou moins prolongé des précipitations. C'est là ce qu'exprime la définition de l'Organisation Météorologique Mondiale (1975) qui considère la sécheresse comme « un déficit de pluviosité par rapport à une moyenne établie sur une longue durée, affectant de grandes surfaces pendant une ou plusieurs saisons ou années, et qui réduit notablement la production primaire des écosystèmes naturels et l'agriculture pluviale ».

Naturellement, si le risque sécheresse affecte d'abord l'agriculture et l'élevage, il peut avoir aussi des conséquences importantes sur les consommations urbaines et industrielles dès lors que les ressources mobilisables pour ces consommations deviennent insuffisantes ou doivent être rationnées. La sécheresse conduit alors à une pénurie conjoncturelle.

En matière agronomique et pastorale, il y a lieu de distinguer trois situations distinctes en Méditerranée, selon que cultures et pâturages sont totalement ou partiellement irrigués ou sans irrigation. Dans ce dernier cas, l'agriculture et l'élevage dépendent entièrement de la pluie et la sécheresse va produire tous ses effets puisqu'on ne peut improviser une irrigation.

Dans le cas d'une irrigation totale ou partielle, on peut en période de sécheresse faire appel aux ressources mobilisables (barrages, nappes phréatiques) mais celles-ci peuvent elles-mêmes être diminuées, d'où la nécessité d'un rationnement par réglementation des prélèvements. A noter que le cas d'une agriculture totalement irriguée, sans apport de précipitations locales, est illustré de façon exemplaire par l'Égypte, dont l'essentiel des ressources en eau dépend de précipitations (et d'utilisations d'eau) qui se font en dehors de son territoire, principalement en Éthiopie. Le cas de la Libye ou de certaines oasis sahariennes est différent, en ce sens qu'on y fait appel, pour une agriculture totalement irriguée, à des aquifères « fossiles », c'est-à-dire ne se renouvelant pas grâce à des pluies de l'époque actuelle.

Quant à l'irrigation partielle, indispensable dans nombre de cultures du Sud et de l'Est du Bassin et de certaines régions de l'Espagne, de la France ou de l'Italie, force est de remarquer que son utilisation sans cesse croissante et sans cesse plus au Nord soumet au risque de sécheresse et de pénurie d'eau des régions pour lesquelles ce risque n'avait que des conséquences limitées dans le passé (culture du maïs en France par exemple).

3.1. *Genèse et variabilité du climat méditerranéen*

On reconnaît d'abord que « l'explication » et l'évolution d'un climat régional, comme le climat méditerranéen, ne peuvent être appréhendés isolément, hors du contexte mondial (à l'échelle du globe) – ou, à tout le moins, du contexte hémisphérique (en ce cas l'hémisphère Nord, où le partage entre continents et océans est le plus contrasté), parce que la circulation générale de l'atmosphère dont la partie la plus active est zonale, c'est-à-dire orientée d'Ouest en Est, et inscrite dans une bande de latitudes dites tempérées –, agit comme un mélangeur géant, qui lie de façon plus ou moins serrée les circulations particulières, déterminant la dynamique des climats régionaux et sub-régionaux, voire des micro-climats locaux.

En Méditerranée, précisément, on verra ainsi apparaître des circulations épi-sodiques, ou parfois, semi-permanentes, (par exemple, d'Est en Ouest), qui singularisent cette zone, soumise à la fois à l'influence des trois grandes masses continentales qui l'entourent – Afrique, Europe, Asie – et d'une mer, qui agit doublement comme tampon calorifique et comme activateur thermodynamique, littéralement « détonateur » des masses d'air qui y pénètrent.

La première interprétation schématique du climat méditerranéen fait intervenir la juxtaposition ou le conflit occasionnel de trois masses d'air : l'air tropical saharien venu du Sud, l'air humide et frais, venant de la zone océanique par le quadrant Nord-Ouest ; et l'air continental d'Europe de l'Est et de l'Asie, dont le transport méridional dépend des avatars de la circulation générale dans ces régions, à diverses latitudes. On pourrait alors voir dans le climat méditerranéen, considéré d'Ouest en Est, une succession de « zones d'affrontement », autour desquelles s'organisent les domaines de prédominance de tel ou tel type de temps, correspondant aux masses d'air en question, à l'échelle saisonnière ou inter-annuelle (**figure 5**).

3.1.2. *Le climat d'aujourd'hui*

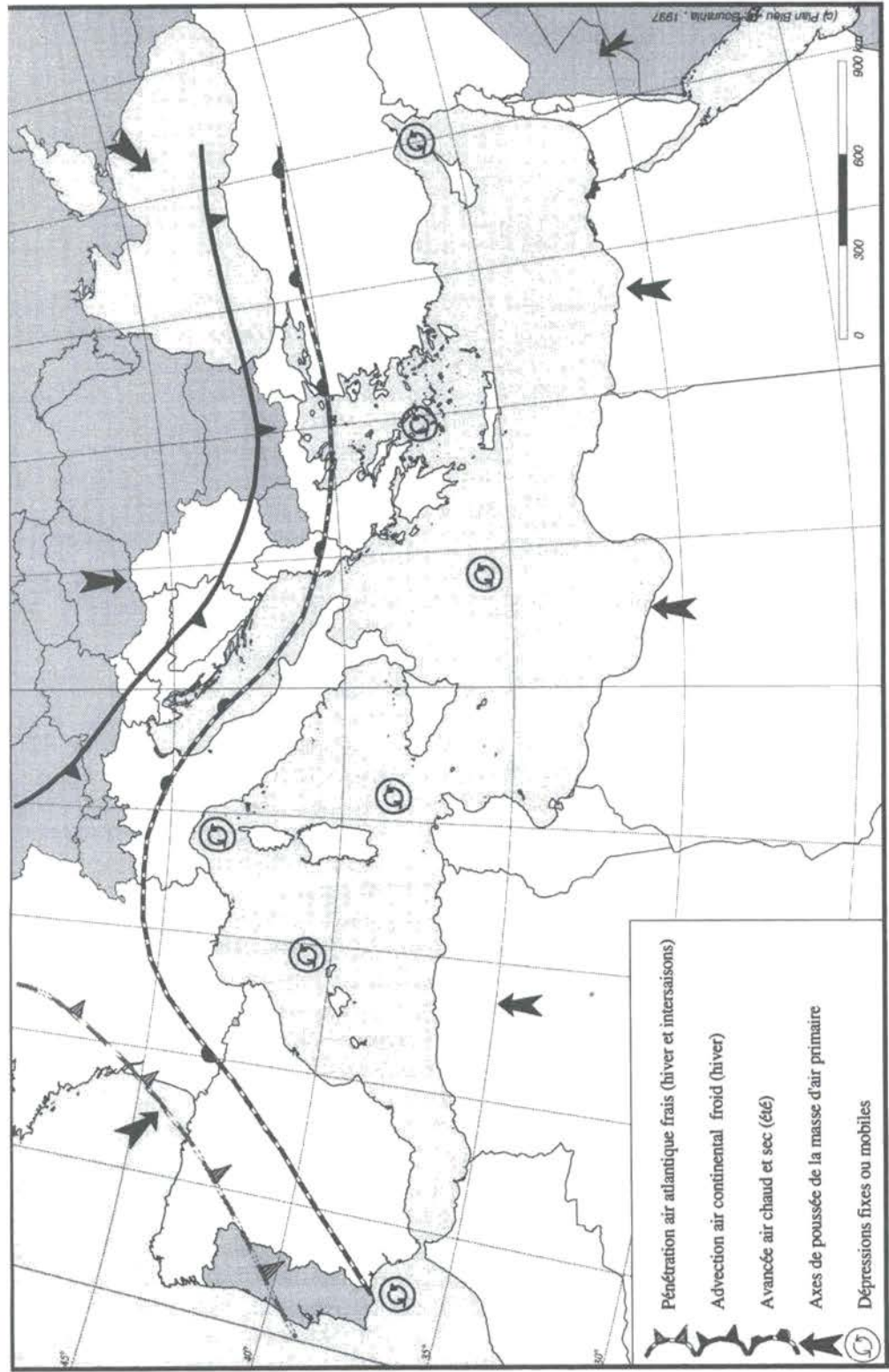
La première de ces zones d'affrontement se situe à hauteur de la péninsule ibérique, et du Maroc, qui marquent, mais inégalement, le grand conflit entre l'influence directement atlantique et l'influence méditerranéenne.

Le climat espagnol apparaît, à première vue, extrêmement compartimenté, à raison d'une orographie découpée (importants reliefs au Nord et au Sud, plateau central). Les climatologues y distinguent schématiquement la zone verte, et la zone brune, qui traduisent l'aspect général des sols et de leur végétation, soumis à des pluviosités très différentes. De façon plus précise, on reconnaît l'influence atlantique et les pluies abondantes qui y sont liées, au voisinage des Pyrénées et de la cordillère cantabrique et sur la façade océanique, sensiblement Nord-Sud, des confins de l'Espagne ou Portugal. Les vents y soufflent souvent du Nord-Ouest, drossant de l'air atlantique humide et frais d'origine polaire.

Sur la façade méditerranéenne, les contrastes sont très marqués, entre la partie catalane, la vallée et le delta de l'Èbre au Nord, « zone verte » où les précipitations automnales notamment, comme celles du Languedoc français adjacent, peuvent être abondantes, voire catastrophiques ; et une zone semi-désertique dans le Sud-est (région d'Almeria), où les records d'aridité sont battus, avec des

Figure 5

Risque climatique en Méditerranée – Zone d'influence des masses d'air



Source : Plan Bleu/Villevieille.

valeurs moyennes annuelles de la pluviométrie inférieures à 200/300 mm (on y trouve avec 130 mm, le point de hauteur de pluie la plus basse en Europe).

Entre les deux façades méditerranéenne et atlantique, hormis quelques petits îlots géographiques « explicables » par la configuration orographique avoisinante, comme le maximum relatif au Nord d'Algésiras (effet d'encagement dans le détroit de Gibraltar) ou la « porte » d'Albacete entrouverte aux vents humides de Nord-Ouest, la prédominance est la sécheresse – plus de 50 années sur 100 – où l'isohyète de 700 mm annuels, délimite la frontière entre l'Espagne humide et l'Espagne « aux printemps secs », dans l'enchaînement de l'hiver et de l'été. L'indice d'aridité de Thornthwaite, calculé d'après l'écart entre précipitation et évapo-transpiration, oscille le plus souvent entre des valeurs 0,3 et 0,7 qui caractérisent les climats semi-arides, sur le Sud de l'Espagne en deçà de 40° de latitude.

Une même configuration existe au Maroc, soumis principalement à deux types de masses d'air, maritime atlantique et continental saharien, mais avec incursions épisodiques d'air méditerranéen en mer d'Alboran. L'air atlantique est déplacé horizontalement (advection) sur la façade océanique du Maroc, soit en régime de Nord-Ouest frais, souvent établi depuis l'Islande (« fetch » gigantesque qui explique les grandes houles de Nord-Ouest, dommageables pour le trafic maritime jusque dans les ports) ; soit en régime de Sud-Ouest, à caractère tropical, venu des Canaries, parfois porteur de pluies. L'air saharien chaud et sec provient des marges du désert. Il peut marquer sa progression par des poussées vers le Nord, sous le nom de simoun, ou de sirocco aux confins algériens, qui peuvent durer plusieurs jours.

L'air méditerranéen est lui-même poussé épisodiquement – parfois sur une durée de 5 à 7 jours consécutifs – par le vent d'Est (le « levante ») et subit des effets orographiques remarquables lorsque la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas marocain confinent le flux sur le détroit de Gibraltar. On note ainsi des nuages et des pluies, et des effets de foehn du côté « sous le vent », c'est-à-dire le golfe de Cadix : le phénomène s'appelle curieusement « matabre ». On peut voir là l'illustration d'une singulière articulation entre les trois masses d'air atlantique, méditerranéen et saharien, qui justifierait le terme de « point climatique triple ».

L'affrontement des masses d'air se déploie d'Ouest en Est sur tout le Bassin, avec un effet saisonnier marqué. L'analyse statistique montre que, de manière générale, les précipitations les plus fortes se placent en hiver, avec, selon les pays, des pics secondaires aux inter-saisons hiver-printemps et automne-hiver. Il est ainsi commode de ne distinguer en Méditerranée que deux saisons, la saison d'hiver et la saison d'été, inégalement longues selon la situation géographique, avec symétrie Nord-Sud accusée. L'explication est liée à l'excursion Sud-Nord puis Nord-Sud du « front polaire », c'est-à-dire la limite méridionale des masses d'air polaire qui alimentent par son flanc Nord la circulation hémisphérique zonale Ouest-Est. Ce mécanisme de va-et-vient intersaisons suggère évidemment une ressemblance avec l'effet de mousson sur le sous-continent indien, en Asie du Sud.

Lorsqu'arrive l'automne, des masses d'air polaire, plus facilement identifiées par des « gouttes froides » en altitude (identifiées au niveau de mi-hauteur de l'atmosphère, soit 500 hectopascals), « décrochent » du front polaire en cause pour atteindre les latitudes inférieures et y déclenchent des effets de cyclogénèse (for-

mation de dépression) et de frontogénèse (clivages frontaux). Ces effets sont amplifiés sur le Bassin, qui régénère l'instabilité thermoconvective et assure le transfert vertical de l'eau de la mer vers les nuages réceptacles qui, plus tard et plus loin, la reconvertiront en pluie.

C'est ainsi que la pluviométrie se manifeste le plus souvent sur les zones côtières de la Méditerranée occidentale, Pays du Maghreb, Italie, France, avec parfois les excès décrits au chapitre II.2), mais au total, avec une répartition assez régulière, pouvant atteindre et dépasser le niveau des 1 000 mm annuels, par effet local de confinement de la masse d'air pluvigène (les contreforts de l'Atlas en Algérie et Tunisie, des Apennins en Italie, des Alpes et des Pyrénées, en France et dans le Nord de l'Espagne jouent parfois ce rôle).

L'air saharien présent au Sud de l'Atlas, est limité en Algérie et Tunisie par une bande de territoire sensiblement Ouest-Est de plusieurs centaines de kilomètres de large, entre les isohyètes 700 et 300 mm. La régression vers le Nord de cette zone-frontière aérologique est observée de longue date ; on a cité le chiffre moyen de 2 à 3 kilomètres par an, assez controversé.

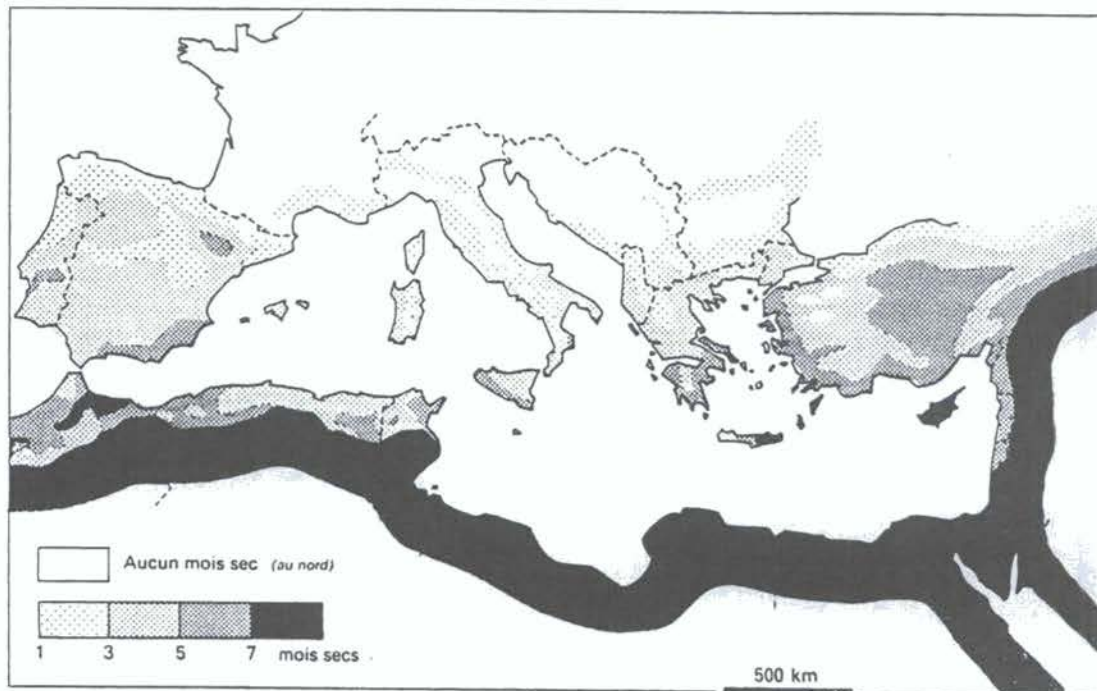
La Méditerranée orientale met plus fortement encore en évidence le contraste des masses d'air. L'air tropical saharien sec a, depuis très longtemps, envahi la Libye et l'Égypte (sauf incursions limitées d'air tropical humide, dit « de mousson »). Sur les zones riveraines du Sud Europe et du Proche Orient, la caractéristique pluviométrique dominante correspond à des pluies d'hiver, qu'on peut relier aux dépressions mobiles sur la Grèce, la Turquie, la Syrie, le Liban et Israël. Le phénomène se place d'une certaine manière, dans le prolongement des effets déjà observés en Méditerranée occidentale : l'air froid « décroché » du front polaire, et humidifié par l'effet marin, pourra engendrer des dépressions (cyclogénèses). Les pluies diluviennes de janvier 1997 sur le Péloponnèse (inondations de Corinthe, Argos, Athènes) illustrent bien la typologie des situations météorologiques correspondantes.

De manière comparable, les situations météo-climatiques du Proche Orient mettent en jeu la rencontre de la cyclogénèse méditerranéenne (dépression dite « de Chypre »), et l'arrivée des masses d'air froid continental, venues d'Europe du Nord, du Caucase, voire de l'Oural, humidifiées en ce cas lors de la traversée de la mer Noire. Les pluies d'hiver s'accompagnent alors assez souvent de neige sur les plus hauts reliefs.

Il y a ainsi à la fois, une diversité importante des climats méditerranéens sub-régionaux avec une saison sèche toujours beaucoup plus marquée au Sud et à l'Est qu'au Nord, en même temps qu'une unité fondamentale qui tient à la présence de deux frontières aérologiques naturelles, la grande cellule saharienne au Sud, le front polaire au Nord (**figure 6**).

La diversité climatique se retrouve dans les vents méditerranéens, qui interviennent de façon si régulière et avec des caractéristiques si marquées (orientation, variation diurne/nocturne, durée, structure verticale, turbulence associée, rafales), que l'on a pu les « personnaliser » en leur donnant des noms propres. Ainsi, au Nord, le mistral français lié au mistral espagnol et au « maestrale » italien – le « maître » ou le « roi des vents » – ; et la bora de l'Adriatique Nord, soufflant depuis la Slovénie et la Croatie, jusqu'à la Vénétie. Ces deux vents venus de

Figure 6

Durée de la saison sèche

Source : D'après P. Birot & J. Dresch, 1953, modifié.

l'horizon Nord (respectivement du quadrant Nord-Ouest et du quadrant Nord-Est), véhiculent les masses d'air froid descendues des hautes latitudes en hiver. Au Sud, ce sont les vents chauds résultant d'expulsions d'air saharien du simoun marocain, au sirocco algérien, au ghibli de Tunisie ; on passe aux grandes poussées d'air saharien en Égypte, avec le « khamsin », réputé durer cinq jours, d'où son nom, et les crises violentes de vent de sable, le « haboob », véritable perturbation thermoconvective, qui s'annonce par un « front » très dangereux : la désastreuse tempête de sable de mai 1997 sur l'Égypte a fait des dizaines de morts.

La mer elle-même porte l'empreinte de cette fréquentation régulière des vents, sous la forme de courants identifiables par leur singularité thermique, que révèle la vision infrarouge des satellites météorologiques. On ne s'étonnera donc pas de constater que la météorologie marine opérationnelle en Méditerranée, distingue un grand nombre de zones compartimentées pour l'avertissement aux navigateurs, pêcheurs et plaisanciers.

On retiendra que le climat méditerranéen partage entre son quart Nord-Ouest, au climat humide, et l'ensemble des pays au Sud et à l'Est, au climat sec, une diversité de configurations climatiques, dont les zones-frontières se situent respectivement au-delà de 700 mm de pluies annuelles, et en deçà de 500 mm puis 300 mm, où l'aridité devient le facteur dominant.

3.1.2. Le climat futur : l'effet de serre

Le climat futur en Méditerranée découlera en bonne partie de l'effet de serre additionnel, c'est-à-dire du « piégeage » dans l'atmosphère d'un surplus calorifique apporté par l'absorption de certains composants gazeux, qui y sont injectés par l'homme, le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O) et surtout le gaz carbonique (CO_2). En fait, le CO_2 est naturellement présent et avec une répartition remarquablement homogène dans toute l'atmosphère, si bien que le dit effet de serre a eu, à ce jour, des conséquences bénéfiques, maintenant la température moyenne de l'environnement humain à des valeurs réputées confortables c'est-à-dire nettement positives.

Dans le futur, le contenu en CO_2 , malgré les contre-mesures de restriction attendues dans les pays les plus consommateurs de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel), donc les plus producteurs de ce bioxyde de carbone, ne cessera d'augmenter, suivant une pente sans doute assez peu infléchie par rapport à la pente actuellement constatée. Un doublement de la teneur en CO_2 (700 ppm) devrait donc être atteint dans la seconde partie du siècle prochain.

Quelles en seront les conséquences sur le climat lui-même ? On peut répondre, avec une certaine approximation numérique, au moyen des modèles qui décrivent le mouvement général et le comportement thermodynamique de l'atmosphère. Ces modèles ressemblent aux modèles météorologiques utilisés pour la prévision d'échéance rapprochée, dont le fonctionnement a été rappelé plus haut à propos des « risques d'eau », qui sont de véritables accidents du climat naturel, mais d'importance relativement peu signifiante sur le comportement de l'atmosphère à l'échelle inter-continentale. Ce comportement sera analysé, selon les mêmes lois – inchangées – de la physique mathématique, mais à une échelle d'espace différente, où la maille, qui s'abaissait de 125 km – échelle synoptique – jusqu'à 25 km – échelle mésosynoptique –, s'exprime alors en multiples ou sous-multiples du degré de latitude et longitude.

3.1.3. Évolution du climat

La véritable « connaissance » du climat futur ne peut s'exprimer qu'en termes de probabilité, en tenant compte de la sensibilité des modèles aux hypothèses d'entrée. Cependant, les travaux les plus avancés, donnent une vision déjà assez détaillée du climat futur de la Méditerranée dans l'hypothèse du doublement du CO_2 .

Dans une projection à l'échéance de quelques décennies, on ne saurait perdre de vue que le climat « sensible » résultera, en réalité, de l'addition du climat « initial » avec sa variabilité naturelle, et d'une modification correspondant à l'effet de serre anthropique. Les simulations précédentes permettent d'évaluer ce dernier effet, « à CO_2 double », avec des approximations que l'on peut discuter ; mais il apparaît déjà, en facteur commun de tous les résultats avancés, que la modification sera probablement encore assez peu sensible à l'échéance 2025, c'est-à-dire qu'elle se « diluera » dans la variabilité traditionnelle pour, sans doute, prendre progressivement le dessus dans les décennies suivantes.

On aperçoit donc dans les années 2025-2030, un « point d'inflexion » climatique, qui annonce probablement, dans les deux derniers tiers du siècle prochain, des évolutions beaucoup plus marquées, pour lesquelles, il faudra impérativement apporter des remèdes.

Les évolutions indiquées par les modèles peuvent être ainsi résumées :

1) Le climat méditerranéen subit l'effet général d'entraînement vers le Nord de la « vague » thermique liée à l'effet de serre. Mais il bénéficie de certains rééquilibres inter-latitudes, qui se traduisent jusqu'en 2025 par un adoucissement de « l'altithermie » générale. En valeurs numériques, le chiffre de 1 °C peut être cité, avec excursions « locales » possibles de quelques degrés au-delà de cette valeur.

A partir du premier tiers du siècle prochain, la montée en température devrait suivre le mouvement hémisphérique général, pour atteindre une tranche autour de 3 °C en moyenne – toutes saisons –, qui signifierait des changements, voire des mutations, de grande importance pour les populations méditerranéennes.

2) Le facteur le plus essentiel concerne les précipitations et par conséquent le risque sécheresse. On reconnaît que c'est – malheureusement – le domaine où les modèles généraux sont les plus insatisfaisants, parce que la variabilité spatiale de ce facteur est beaucoup plus grande que celle de la température, tandis que les effets de plus petite échelle, à certains égards dominants en Méditerranée, ne sont pas réellement pris en compte, notamment, en raison du lissage de l'orographie dans les modèles globaux.

On peut donc s'attendre à une forte imprécision sur la tendance probable d'évolution des précipitations. Cependant, on tiendra pour à peu près assuré, d'une part un « durcissement » des conditions de sécheresse (ampleur et fréquence) au Sud et à l'Est du Bassin, en continuité avec les masses continentales correspondantes, d'autre part un léger accroissement des précipitations possible sur certaines régions au Nord et à l'Ouest du Bassin, à raison des conditions favorables à des formations locales de masses nuageuses capables de transférer des pluies.

Là encore, sans fixer de date-butoir, la tendance ultérieure devrait être un appauvrissement moyen de l'humidité tout autour du Bassin, la Méditerranée, littéralement « coincée » entre trois grands continents, subissant de leur part un effet d'entraînement climatique qui fera intervenir dans ce sens l'influence « majoritaire » de l'Afrique et de l'Asie du Proche Orient.

Cette description de l'hydroclimat futur doit cependant être relativisée du fait qu'on connaît encore mal, *a priori*, le décalage en latitude du « front polaire », tandis que – défaut commun à tous les modèles – la maille d'espace utilisée par ceux-ci reste relativement grossière, et comparable en dimension à la largeur du rectangle méditerranéen analysé. Tandis également que la procédure même d'utilisation des modèles GCM néglige de faire apparaître les climats aux échéances intermédiaires, qui pourraient sensiblement modifier les données de départ nécessaires pour ce modèle final, en rapport avec le couplage océan-atmosphère, les échanges radiatifs au niveau de la couverture nuageuse, et les relations avec la biosphère.

3) Le problème de la montée du niveau de la mer ne paraît pas se poser de façon aiguë aux premières échéances ici traitées. A l'échelle mondiale, on est incertain sur le rythme de fonte des glaces polaires, au moins pour l'Antarctique, où les indices actuels d'évolution parfois cités, (émiettement de certaines zones de glaces dans le prolongement de la dorsale andine ; détachement de gros ice-

bergs repérés à des latitudes anormales) ne sont nullement probants, du point de vue de la tendance générale du climat mondial.

A l'échelle méditerranéenne, le prolongement des valeurs actuellement constatées (isostasie), est certes, susceptible d'aller plutôt dans le sens de l'augmentation de niveau, en conjonction avec l'effet de gonflement thermique : mais le rythme en serait modéré, peut-être 4 mm/an, atteignant ainsi des valeurs dans la tranche des 10-20 cm vers 2025 ; les conséquences apparaîtraient ainsi négligeables sur l'ensemble des côtes méditerranéennes, à l'exception peut-être des principales zones deltaïques, notamment de l'Èbre, du Rhône, du Pô et du Nil où une faible montée de la mer peut avoir quelques conséquences, ainsi naturellement que de la lagune de Venise (Jeftic *et al.*, 1996).

3.2. Impacts de la sécheresse naturelle et aggravée

La sécheresse a des conséquences extrêmement dommageables dans le domaine rural, où la production agricole est la première victime, mais aussi dans le domaine urbain où le ravitaillement en eau de la population, dans un contexte de démographie fortement croissante, pose des problèmes de quantité, mais aussi de maintien de la qualité. Il faut y ajouter des effets induits également dommageables, comme les invasions de criquets et les incendies de forêts, avec à terme une possibilité de désertification.

3.2.1. Le domaine rural

La plante, de manière générale, souffre du stress hydrique, c'est-à-dire du déficit de l'eau disponible, qui influence sa croissance, d'abord au niveau des feuilles puis, en ordre décroissant, des tiges et des racines. Dans le sol, suite à une période de sécheresse prolongée, l'absence d'eau pour les racines entre 20 et 100 cm de profondeur signifie de manière générale une récolte très réduite, mais non définitivement « ruinée », si du moins l'approvisionnement en eau, dans la période précédente, a été suffisant. Enfin, la sensibilité des semences aux sécheresses durant la période d'ensemencement est bien connue.

La relation plante-sécheresse s'exprime par une équation de l'eau.

$$P = R + D + E + \Delta W$$

où P est la précipitation, R le ruissellement, D le drainage profond (au-delà de 1 m) E, l'évapotranspiration et ΔW la modification du contenu en eau – le stockage provisoire – de l'eau dans le sol. Dans le cas de la sécheresse, la précipitation, le ruissellement et le drainage profond étant faibles, l'équation fondamentale met en regard les deux termes :

$$E = \Delta W$$

où l'évapotranspiration devient l'élément-clé.

Dans l'hypothèse de bons apports d'eau, la transpiration de la plante se fait à taux maximal. Dans l'hypothèse de la sécheresse, avec un sol devenu très sec, la transpiration se maintient à 90 % du taux potentiel jusqu'à ce que les deux tiers de l'eau disponible aient été épuisés. Quand cet épuisement est complet, la transpiration se réduit au dixième du taux potentiel.

Différents modèles rendent compte du phénomène. Les plus connus sont ceux de Palmer, Penman et Thornthwaite, dont les indices d'aridité utilisent à la fois l'évapo-transpiration potentielle, la précipitation et la température (facteur important, avec le vent, de l'évaporation superficielle). Ces indices mesurent, en quelque sorte le bilan de différents effets physiques sur le rendement végétal. Ils montrent une variation exceptionnelle dans les diverses parties de la Méditerranée.

Dans le cas de périodes alternées de sécheresse et de précipitation, les dommages sur la plante n'ont pas, en général, un caractère irréversible. C'est, fort heureusement le cas, certaines années, pour la production céréalière. Mais les rendements se ressentent – parfois d'un ordre de grandeur – d'un déficit saisonnier de la pluviométrie.

En revanche, l'effet sur les plantes d'une sécheresse prolongée peut être gravement irréversible par la dessiccation du tissu végétal et ses conséquences, d'une part morphologiques et mécaniques (rupture de la membrane des cellules et du protoplasme), d'autre part, « métaboliques » (processus de réduction de la photosynthèse, arrêt de la synthèse des protéines par les acides nucléiques).

La défense des plantes se fait multiplement, au niveau des feuilles et des tiges, par la petite taille, par l'épaisseur (et la rigidité) des cellules superficielles et par le nombre de stomates par unité de surface. C'est ce qui se passe pour les végétaux pérennes, de type ligneux, des zones arides. D'autres plantes échappent à la sécheresse en retardant la déshydratation prématurée de leur tissu, par réduction de leur transpiration ; et en jouant sur leur réserve en eau pour attendre la prochaine période favorable.

Une stratégie paysanne en Méditerranée consiste à sélectionner les hautes productions d'hiver pour atteindre une maturité précoce avant la sécheresse naturelle de l'été.

Il y a, de manière générale, une conjonction de l'accentuation de l'aridité au sens climatique du terme, et de la diminution de la fertilité du sol.

Les raisons en sont multiples, notamment la surexploitation du domaine agricole, en y incluant, avec le surpâturage, le déboisement, ou tout au moins le prélèvement excessif du bois des forêts (les incendies de forêts participent à cette dégradation) ; et les modes de traitement des cultures (particulièrement, l'irrigation quand elle est mal conduite).

Il faut considérer aussi le phénomène de l'évaporation, phénomène complexe qui dépend d'abord de l'impact du rayonnement solaire – et augmente avec lui – mais aussi de l'humidité ambiante et de la ventilation superficielle de la surface. Une augmentation de température de 2 °C pourrait causer un accroissement de 40 % de l'évaporation en zone tempérée humide, mais sensiblement moins dans un environnement plus sec.

Le taux d'évaporation est également lié à l'humidité du sol. La réduction des précipitations – ou de leur répartition dans le temps – entraîne ainsi un déclin de l'évaporation, même si les autres facteurs extérieurs jouent dans le sens de sa croissance.

Tous effets confondus, la conséquence récurrente la plus grave de l'évaporation est la salinisation croissante des terres. En témoigne la présence des « sebkhas » – lacs totalement salés – dans les marges sahariennes, notamment en Tunisie.

Il est clair que c'est dans la zone de la tranche basse des hauteurs de pluie – et son probable décalage vers les latitudes plus septentrionales – que se placent les effets les plus marqués du risque climatique, dans sa récurrence saisonnière et dans son évolution prévue.

Le décalage vers le Nord de la bande aride saharienne sur le Maghreb pourrait être, en deuxième moitié du siècle prochain, du même ordre de grandeur que celle indiquée par les évaluations statistiques historiques, que certains estiment en moyenne à 2-3 kilomètres par an, tous effets confondus de la variation naturelle et de l'action anthropique, cette dernière étant manifestement prépondérante depuis le siècle dernier.

L'irrigation intervient, paradoxalement, dans le processus si l'eau apportée contient trop de sels dissous. L'évaporation fait son effet, entraînant des concentrations salines qui finissent par dépasser le seuil d'acceptabilité des plantes. Le correctif fondé sur un supplément d'irrigation, ou « lessivage » des sols, peut lui-même être nocif, si l'élévation du niveau phréatique vient lécher les racines, au point de les asphyxier (water logging). On introduit ainsi dans le cycle hydrologique naturel, soumis au « durcissement » attendu du climat sec, des effets qui vont en sens inverse des contre-mesures adoptées. La meilleure parade à la salinisation des sols irrigués consiste à établir un système effectif de drainage, ce qui est trop souvent négligé.

3.2.2. Les impacts du climat futur

Du point de vue de la production agricole, il y a lieu de considérer les effets couplés proprement climatiques de l'effet de serre, et les effets biochimiques de l'accroissement du CO₂.

En ce qui concerne le climat physique, une légère augmentation des pluies et la réduction des gelées au Nord du Bassin, devraient se traduire par un modeste avantage pour la production générale, en y incluant les céréales – encore que l'on puisse s'attendre à un recul très sensible, peut-être 8 à 10 millions d'hectares, des surfaces emblavées dans l'Europe méridionale.

Au Sud et à l'Est du Bassin, la disparité entre surfaces irriguées et surfaces non irriguées tendra certainement à s'accroître. Les premières se consacreront, notamment, à la production horticole ou aux plantations d'arbres à fruits tropicaux (agrumes, avocats, etc.) ; tandis que les rendements moyens de la production céréalière continueront à osciller médiocrement autour de 4 à 8 qx/ha selon les variations annuelles des précipitations.

Un effet favorable, un peu inattendu, concerne l'augmentation de la photosynthèse par l'excès de CO₂, qui joue un rôle d'engrais gazeux pour la bio-masse. L'utilisation du CO₂ émis par les centrales thermiques, pour engraisser les productions horticoles dans les serres proches, est d'ores et déjà bien connue. En fait, les essais en laboratoire et en vraie grandeur montrent un accroissement général de la bio-masse en cas d'augmentation du simple au double de la teneur actuelle de CO₂ atmosphérique. Cet accroissement pourrait être nettement supérieur à 30 %, ce qui est considérable, mais ne doit pas s'interpréter en termes de rendement des récoltes, car le CO₂ se répartit très inégalement dans les diverses parties de la plante ou de l'arbre. De plus, l'accroissement du CO₂ intervient favorable-

ment dans le rendement du captage hydrique de l'eau du sol, mécanisme particulièrement important en zone aride.

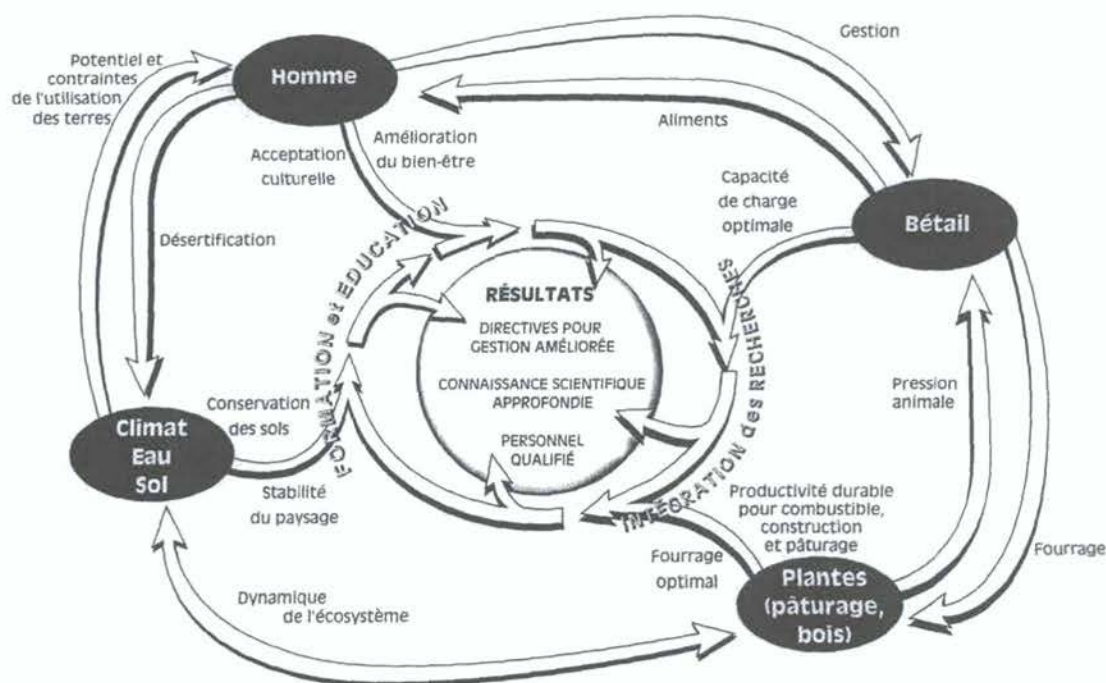
On manque encore aujourd'hui du « recul » nécessaire pour évaluer ces effets.

Il y a une évidente corrélation entre les échanges de la plante avec l'atmosphère, par les stomates capteurs du CO_2 et en même temps, évaporateurs de l'eau. Si le sol est humide, la plante régularisera en prélevant l'eau adjacente. Il y aura, à l'inverse, dysfonctionnement et perte de substance végétale – dépérissement – si le sol s'est appauvri en eau. L'évapotranspiration est donc corrélée avec la température (croissant en même temps que celle-ci) et avec la précipitation, selon des formules comme celle de Penman. C'est le bilan de ces différents effets qui intervient finalement dans le rendement végétal.

La conjonction de la croissance des besoins en eau et des facteurs de pénurie de l'eau saine semble encore assez lentement évolutive : elle deviendra critique ou même localement « explosive » sur les rives de la Méditerranée dans la plupart des pays allant de l'Espagne à la Syrie ainsi que dans la plupart des îles à l'horizon 2025 qui devrait marquer en même temps, selon les projections citées, le « point d'inflexion climatique » du siècle prochain.

Dans ces conditions, le processus de désertification, conjonction de facteurs naturels et de facteurs anthropiques, risque de s'aggraver dans les terres marginales de ces différents pays (figure 7).

Figure 7
L'origine de la désertification



3.2.3. Sécheresse et criquets

On s'est longtemps demandé quelle était l'origine géographique des invasions de criquets pèlerins, grands dévastateurs de récoltes en Afrique, qui figuraient déjà au rang de huitième plaie de l'Égypte ancienne.

Dans les invasions récentes, on situe l'aire génératrice dans la Corne de l'Afrique (à son extrême Est) et dans les provinces adjacentes de l'Éthiopie. Par la suite, l'extension s'est faite, pour partie vers l'Est (franchissement du détroit de Bal el Mandeb vers le Yémen et l'Arabie Saoudite, puis le Pakistan et l'Inde), et pour la grosse partie sans doute, vers l'Ouest, du Soudan au Tchad, au Niger et au Sénégal, par la conjonction de deux effets : des vents (de basses couches) orientés dans cette direction et un retour à une pluviosité saisonnière nettement marquée, en 1977 et 1978 (après la longue sécheresse du Sahel jusqu'en 1974).

De là, et pour les deux années citées, l'invasion s'est prolongée en direction du Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie) par deux voies principales. L'une emprunte le couloir mauritanien pour remonter du Sénégal vers le Sud marocain, sous l'influence des flux de Sud-Ouest, constitués pour une part d'air maritime plus humide. L'autre passe par le Sahara central en direction de l'Algérie du Sud, mettant à profit, en hiver et au printemps, une conjonction climatique de mousson tropicale avec des incursions d'air polaire humide sur le territoire algérien. Enfin, il faut sans doute chercher la trace d'une invasion secondaire depuis les confins de la Libye et du Sud Tunisien.

L'influence de la variabilité du climat, et notamment des sécheresses sur la propagation des acridiens est bien connue : mais le mécanisme est singulier. Les criquets vivent naturellement à l'état de « solitaires » dans de vastes régions d'Afrique (et d'Asie) à l'état semi-désertique (steppes sablonneuses), quasiment sans précipitations. Dès que les pluies tombent sur une région, les criquets solitaires passent à l'état grégaire, en quelque sorte pour profiter de la situation. Les femelles ont, en effet, besoin de terrains humides pour pondre. Il s'agit d'une ponte abondante, 20 à 100 œufs qui se développent dans ce milieu humide et, au bout de 10 à 30 jours, selon les saisons, les larves viennent en surface et se nourrissent de l'herbe qui vient de pousser. S'ensuit une période de mues successives, au nombre de cinq, qui aboutissent à l'adulte volant, au bout de cinq à six mois si le temps est froid et sec, ou quelques semaines seulement si le temps est chaud et humide.

Ainsi, le fait météorologique/climatique est omniprésent dans le phénomène « criquets », au point que l'on a décidé de créer une discipline nouvelle « l'acrido-météorologie ».

Une fois formé par cette surprenante mutation de l'état isolé à l'état grégaire, l'essaim se déplace dans la direction du vent. Ces animaux à sang froid ont besoin de chaleur – c'est-à-dire de soleil – pour voler. L'essaim se pose donc pour la nuit ; il se déplacera à raison d'une dizaine de kilomètres par heure en moyenne, dans la direction de nouvelles zones humides. La fin de la pérégrination interviendra sur des conditions météorologiques systématiquement défavorables.

Le criquet dangereux pour l'Afrique du Nord (il en existe d'autres espèces et le terme « sauterelle » est parfois improprement employé) s'appelle « *Schistocerca gregaria* ». C'est un insecte très vorace, qui consomme chaque jour l'équi-

valent de son poids, soit 2 grammes. La densité au mètre carré de l'essaim peut passer de quelques dizaines à l'état isolé à plusieurs centaines à l'état grégaire : un essaim représente quelques dizaines de millions d'individus, répartis sur quelques hectares.

La stratégie de la lutte anti-acridienne passe par un premier effort de localisation des essaims et de leur marche probable. Il y a place ici pour un ensemble de techniques convergentes. Les unes utilisent au sol les observateurs humains, qui peuvent prélever des échantillons, indiquant en particulier le degré de maturation des laves. Le satellite météorologique constitue une aide précieuse car il peut d'une part, repérer des essaims ; d'autre part, indiquer les lieux de ponte probable, en identifiant des surfaces soumises à précipitation, un peu plus tard « surfaces vertes » où l'herbe a poussé ; enfin, donner, avec la vitesse du vent, la direction approximative du déplacement ultérieur. La prévision se fonde sur ces éléments, mais également sur une donnée de température, qui détermine le niveau de vol (les criquets suivent une « température de confort », de l'ordre de 20 °C à 23 °C). L'intervention anti-criquets mobilise des flottes de petits avions, capables de voler très bas en terrain accidenté, et de répandre des pesticides, par systèmes gicleurs-diffuseurs.

Dans les années 1960, on dispersait annuellement dans le monde, quelques 100 000 tonnes de DDT, considéré comme le produit le plus efficace pour la lutte contre les insectes, en général. Une décennie plus tard, le DDT était incriminé comme nuisible pour la santé, en raison de son comportement dans la chaîne alimentaire. De plus, les organismes-cibles construisaient progressivement des défenses immunitaires contre le DDT, dont on devait constamment relever les doses.

C'est la raison pour laquelle le DDT fut remplacé à ce moment par la dieldrine pour les larves, et la malathion pour les adultes. Le premier produit est réparti, à doses infimes : le second doit être employé en plus grandes quantités (un litre à l'hectare). Il s'agit là de produits persistants, dont l'effet nocif pourrait être ressenti à la longue par les mammifères supérieurs. La chimie a donc recherché les produits toujours spécifiques et d'action peu rémanente tels que le feuthion (DDVE).

Le souci d'épargner l'environnement (malaises chez les hommes : contamination possible de la récolte de dattes dans les palmeraies) autant que la résistance toujours croissante des insectes aux produits diffusés depuis un certain temps, conduit aujourd'hui à étudier des nouvelles molécules plus performantes et moins nocives ; ou même à étendre le champ d'investigation à la génétique, pour dévier, inhiber ou paralyser l'évolution des insectes (bendiocarbe, chloropyriphos, deltaméthrine, fénitrothion, filpronil, lambdacyhalothrine, malathion, difluobenzuron)

3.2.4. Sécheresses et incendies de forêts

L'occurrence d'incendies de forêts est, de manière générale, liée à des facteurs météorologiques, et d'abord à une sécheresse de l'air particulièrement prolongée ; le vent (vitesse moyenne et rafales, modifiant provisoirement l'orientation de cette vitesse) constitue un effet aggravant par l'augmentation de la surface que parcourent les incendies.

Une étude réalisée à la fin de la dernière décennie, donnait des éléments d'intercomparaison des surfaces brûlées, pour des pays du pourtour méditerranéen (Hétier, 1994).

(i) Pour les pays du Sud, à boisement relativement faible :

– Tunisie : 105 incendies parcourant en moyenne 1579 ha par an sur 900 000 ha de forêts (taux de boisement : 6 %)

– Maroc : 2 867 ha parcourus annuellement sur 4 800 000 ha de forêts

(ii) Et pour les pays du Nord, à taux de boisement élevé :

– Espagne : 1 460 800 ha, taux 30,8 % ; surface boisée parcourue en un an : 1,16 % en 1985

– Italie : 8 675 000 ha, taux 29 % ; surface boisée parcourue en un an : 1,16 % (au lieu de 0,7 % en moyenne) en 1985

– Grèce : 8 900 000 ha, taux 19,8 % ; surface boisée parcourue en un an : 1,85 % en 1985

– France méditerranéenne : 4 250 000 ha, taux 26,7 % ; surface boisée parcourue en un an 1,18 % en 1985.

On garde à l'esprit les chiffres très considérables atteints plus tard dans le Midi méditerranéen français, avec 57 000 hectares brûlés en 1989 et 57 000 hectares en 1990, suivis de quatre années plutôt calmes, où les surfaces brûlées n'ont été en moyenne que de 13 000 hectares, pour un total cumulé n'atteignant pas les valeurs précédentes.

On peut considérer, en valeur moyenne, que sur 35 millions d'hectares combustibles en Europe méditerranéenne, 500 000 brûlent en moyenne chaque année (sensiblement plus de 1 %).

En Europe du Sud, au cours des vingt dernières années, la pression moyenne du feu a tendance à augmenter dans cette zone. Ce phénomène est généralement attribué à la déprise agricole, qui entraîne l'extension et l'interconnexion des masifs combustibles. La tendance constatée en France, sur les dernières années, d'une baisse des surfaces brûlées, ne peut être considérée comme significative bien que la sophistication des moyens de lutte puisse l'expliquer en partie.

On constate, en revanche, une nette évolution du type d'incendies. En France, les grands feux, c'est-à-dire ceux qui brûlent d'un seul coup plus de 500 ha, représentent une part de plus en plus importante des surfaces brûlées (ils sont passés de 35 % à 65 % en vingt ans). Ceci peut s'expliquer par une meilleure efficacité des contre-mesures, « tuant dans l'œuf » l'incendie. On considère aussi que le terrain des luttes précédentes, laisse place plus libre à l'extension des incendies nouveaux, qui prennent alors un caractère catastrophique, étendant leurs dégâts au secteur bâti environnant.

Il est à noter que les causes d'incendie augmentent le plus souvent du fait de la négligence, voire de la malveillance, de certains, dans une proportion qui atteint 70 %.

Raisonnant sur l'écosystème forestier, les effets sont contrastés. La forêt méditerranéenne, dans la région européenne considérée ci-dessus, connaît, en dépit des incendies, une forte remontée biologique, en phase de croissance marquée, où dominant à côté des forêts de pins sylvestres qui se régénèrent par semences de façon intense après les incendies, les forêts de chênes à feuilles persistantes, qui

adoptent une stratégie de résistance en rejetant de souche après les incendies. La végétation forestière de l'avant-incendie se reconstitue en général spontanément, au terme de 20 à 50 ans d'évolution.

Cependant, les conditions sont beaucoup moins favorables dans les zones d'aridité du Bassin, à moins de 500-300 mm de précipitation annuelle. Le risque « incendies de forêts » couplé avec le risque sécheresse, augmente alors notablement, comme on le note dans les pays du Maghreb mais aussi en Grèce et dans le Sud de l'Espagne, avec une forte variabilité interannuelle (Ramade, 1997).

La lutte contre les incendies de forêt peut faire appel à une prévention simple, qui consiste à débroussailler les sous-bois responsables de la propagation rapide du feu. Ce débroussaillage se trouvait réalisé, au moins en partie, du temps où la forêt était en quelque manière exploitée (charbon de bois, pâturage). De nos jours, la main-d'œuvre abondante qui serait nécessaire est moins facile à mobiliser mais des mesures réglementaires peuvent être prises pour obliger les propriétaires privés à débroussailler près des lieux habités. On a aussi essayé, en France, sous le nom de SCORPION, une machine à débroussailler, avec récupération utilitaire de la matière ligneuse – mais l'expérience s'est heurtée à des difficultés d'ordre mécanique, et n'a pas eu de suite.

Avec l'aménagement préventif de la géographie de la forêt, comportant multiplication des voies d'accès et coupe-feu, la lutte, désormais, s'inscrit dans une intervention rapprochée, au stade de la localisation des départs de feux puis du traitement par voie physico-chimique – pulvérisation de produits retardateurs et d'eau –, qui associe des équipes au sol, convenablement mobiles (mais cette mobilité est très réduite en pays accidenté) et des moyens aériens (gros porteurs du type citerne, écopant l'eau de lacs ou plans d'eau riverains de la mer ; porteurs légers : Fokker, Tracker ; hélicoptères, se ravitaillant à des points d'eau convenablement répartis dans l'arrière-pays).

La difficulté principale consiste à utiliser avec la meilleure efficacité des moyens en général insuffisants en nombre, dans une stratégie de l'urgence qui sera progressivement gérée par l'informatique.

Le problème consiste à anticiper l'évolution des incendies, depuis la probabilité de départs de feux jusqu'à la dissémination et à la propagation des masses enflammées.

La rapidité d'intervention est vitale. Elle doit faire appel à une connaissance aussi exacte que possible du comportement du front de flammes (et de la physique du feu, encore mal connue), selon les conditions environnementales, qui sont, à la fois, la nature et l'état hygrométrique de la végétation, et les conditions météorologiques de température, hygrométrie et vent (avec ses rafales, parfois appelées « sautes de vent », lorsqu'elles se traduisent par un écart temporaire de la direction).

Seul un modèle logiciel du type « système expert » peut restituer la variabilité de ces conditions à petite échelle. Utilisant des cartes géographiques numérisées (cf. techniques SIG) des modèles tels que le modèle MINERVE (Modélisation Incendie et Études de Risques pour la Valorisation de l'Environnement), capable d'aider à la décision des gestionnaires, sont actuellement mis au point par divers Laboratoires, en France, Italie, Espagne, Portugal et Grèce.

3.3. *Les parades techniques au risque sécheresse*

On ne lutte pas à armes égales avec un risque dont la dimension géographique est immense, parfois à l'échelle d'un continent, et dont l'évolution proprement physique apparaît inexorable. Mais l'Homme dispose de deux parades essentielles.

D'une part, il peut « ajuster » ses comportements (en termes socio-économiques) aux contraintes d'une réalité menaçante, mais progressive, qui laisse un certain délai pour des adaptations : économies de consommation et meilleure gestion de la ressource-eau pour la vie urbaine, économie d'eau en irrigation, stockages interannuels, choix des cultures et des modes d'utilisation des terres pour le monde rural.

Et, d'autre part, on peut envisager des mutations plus brutales, visant soit à changer les cultures elles-mêmes, par modifications bio-génétiques « créant » des plantes résistantes ; soit par l'obtention d'un complément à la ressource – en ayant notamment davantage recours à des ressources en eau non conventionnelles. (en premier lieu, économies d'eau par maîtrise de la demande, mais aussi transport à grande échelle de l'eau vers les zones défavorisées, réutilisation / recyclage d'eaux usées, dessalement de l'eau de mer).

Finalement, on envisagera la possibilité de réaliser la pluie provoquée, qu'un effort de recherche nouveau pourrait éventuellement permettre dans les conditions spécialement favorables du climat méditerranéen.

3.3.1. *L'agriculture face à la sécheresse*

Les progrès de l'agriculture classique et particulièrement la mécanisation des travaux agricoles, la sélection d'espèces et de variétés mieux adaptées aux conditions climatiques, l'adoption de techniques culturales et de méthodes d'irrigation plus efficaces (par aspersion ou en goutte-à-goutte) et d'emploi rationnel des engrais et des pesticides, accroissent de façon sensible, les rendements des cultures et réduisent, dans une certaine mesure, les effets des sécheresses occasionnelles assez fréquentes dans les régions arides et semi-arides du Bassin.

La marginalisation des rendements agricoles observée dans les terres plus arides pourra elle-même être atténuée par l'utilisation d'espèces et de variétés végétales sélectionnées, ou par le recours à des irrigations de complément, quand les ressources en eau sont suffisantes, par exemple là où les capacités régulatrices des aquifères permettent le forage de puits supplémentaires.

En raison de la disponibilité limitée en ressources en eau renouvelable dans l'ensemble des régions méditerranéennes, à l'exception de quelques pays du Nord, le « gaspillage » que l'on reconnaît dans le stockage et la consommation de l'eau doit être réduit en « amont » et en « aval ». Les mesures d'économie constituent le « gisement » le plus important et le moins coûteux pour accroître les ressources.

En amont, il y a encore place en Méditerranée, au seuil des bassins versants en zone montagneuse, pour des barrages de retenue, favorisant l'alimentation des nappes souterraines et contribuant à l'approvisionnement en eau des zones rurales et urbaines. Des mesures correctives efficaces doivent être prises pour limiter l'infiltration, l'évaporation et l'eutrophisation, et pour assurer une protection des bassins de captage contre le déboisement et l'érosion qui provoquent un

envasement rapide de ces barrages, dont la durée de vie peut alors ne pas dépasser une trentaine d'années.

En aval, les pertes en eau peuvent être réduites par une modernisation des réseaux de distribution et par l'aménagement des périmètres irrigués, accompagnés par l'introduction de pratiques plus performantes, tant pour l'irrigation que pour le drainage.

Réduire l'évaporation présente, évidemment, une importance particulière dans les régions soumises à un fort rayonnement solaire. Il est assez clair que le problème, relativement facile à résoudre pour des citernes couvertes destinées à la consommation domestique, se révélera autrement complexe dans le cas de grandes surfaces (lacs collinaires ou retenues des barrages). Les solutions proposées sont de deux ordres. On peut répandre à la surface une couche monomoléculaire, par exemple d'alcools gras à longue chaîne (alcool cétylique, octodécanol), produits non écologiquement nuisibles ; mais les vents assez forts peuvent, en pratique, disloquer cette couche de façon quasi-définitive. Semblable difficulté apparaît avec les méthodes d'interposition de corps flottants (on a essayé un matelas de balles de ping-pong) ; en ce cas, l'effet du vent est très vite rédhibitoire. Au total les chiffres de 20 % à 30 % de réduction annoncée sont, sans doute, valables en période de calme atmosphérique prolongé : mais le rendement moyen est probablement sensiblement inférieur.

Dans les régions à vocation pastorale, le forage de puits supplémentaires, atteignant des aquifères plus ou moins profonds jusqu'ici peu exploités, peut se révéler judicieux pour faire face aux sécheresses récurrentes. Cependant la première conséquence de celles-ci est l'appauvrissement des pâturages. Par ailleurs la création de nouveaux points d'eau peut aggraver la pression pastorale et favoriser la désertification.

Pour ce qui est des productions agricoles elles-mêmes, la biogénétique récente permet d'espérer des améliorations substantielles en matière de résistance à la sécheresse face au changement probable de température, et surtout à l'accroissement de la siccité du milieu ambiant et à la réduction de la ressource en eau – sans oublier, bien entendu la défense contre les infestations d'insectes et de variétés microbiennes, qui peuvent accompagner les sécheresses actuelles ou la future évolution du climat en Méditerranée.

La manipulation génétique concerne déjà des espèces de grande culture en zone méditerranéenne (colza, maïs, pomme de terre, soja, coton, etc.). Les propriétés des nouvelles variétés se traduisent à la fois par des meilleures défenses contre les agents extérieurs (parasites divers) et par des améliorations qualitatives des produits (par exemple, la teneur en matière sèche de la pomme terre ; le mûrissement ralenti de la « nouvelle tomate ») ; au total par une augmentation substantielle du rendement de la plantation.

Il est clair cependant que les avantages retirés de ces mutations doivent être évalués, non seulement en termes économiques immédiats, mais aussi, dans une perspective de conservation des écosystèmes, en fonction de ce que l'on appelle parfois « le flux de gènes » transmissibles d'espèce en espèce. On ne saurait d'autre part oublier que, sans manipulation génétique autre que les procédés traditionnels de sélection, des résultats très intéressants ont déjà été obtenus en

matière d'arido-culture dans divers pays du monde – l'Australie par exemple –, où les risques de sécheresse ne sont pas moindres qu'en Méditerranée. On peut penser par ailleurs que les recettes ancestrales de certaines populations méditerranéennes, consistant à conserver des stocks de semences ou des aliments de secours pour les années de sécheresse – on pense aux ksours marocains par exemple – pourraient être méditées et adaptées dans une certaine mesure aux économies modernes, dans lesquelles l'assurance et la solidarité nationale jouent évidemment le rôle majeur.

Stratégie méditerranéenne contre les risques naturels

La catastrophe naturelle a le caractère d'une agression. Lutter contre les catastrophes implique donc une certaine logique de guerre ; c'est-à-dire d'action défensive pour contenir ou réduire l'assaillant, dans un effort d'ensemble coordonné, avec les armes convenables. Le mot clé est alors « stratégie » – ou plus exactement « stratégies », car il y a diverses approches liées et convergentes pour aboutir au résultat cherché

La réflexion pour l'action qui devrait servir de guide, fera apparaître le cheminement logique suivant : COMPRENDRE pour PRÉVOIR et PRÉVOIR pour MAÎTRISER.

La problématique correspondante consiste à donner réponses à deux questions fondamentales : « Quelle est la prévisibilité du phénomène catastrophique ? » puis « Quelle est notre capacité à maîtriser réellement, sinon le cataclysme attendu, du moins le plus grand nombre possible de ses conséquences à court et moyen terme ? », avec pour corollaire cette interrogation pratique : « Quels sont les outils – les voies et moyens – dont on peut, ou dont il faut, disposer pour aboutir à cette maîtrise ? »

De cette réflexion générale, on tirera la définition d'un programme d'action. Cette action ne peut manquer de mettre en évidence le fait humain qui se situe aux deux extrémités de la chaîne, où l'on subit puis où on se rend maître du sinistre survenu.

La mobilisation des ressources humaines est la première démarche nécessaire, qu'il s'agisse de la mise en condition du corps social pour une attitude de défense passive, comportant lucidité, sang-froid et adhésion raisonnée aux directives des responsables ; ou, complémentirement, de la contribution volontaire des individus et des groupes à cette défense, préventive ou au « temps réel » de la catas-

trophe survenue. On magnifiera, à cet égard, le triple rôle de la vie associative, de la formation et de la communication. Cette mobilisation des ressources humaines, au niveau des grands « acteurs » et des structures administratives sur lesquelles ils s'appuient à tous niveaux (communal, régional, national), n'aura d'efficacité que si on les dote des ressources techniques nécessaires.

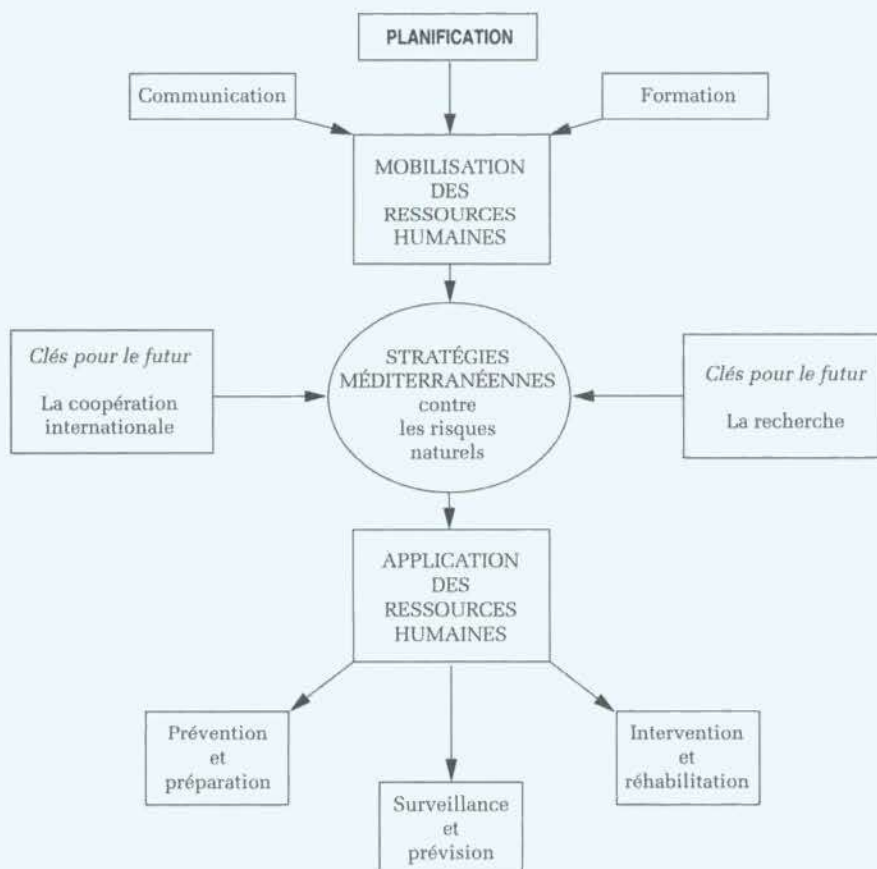
C'est dans ces ressources techniques que l'on trouvera finalement les ressorts principaux d'une action, que l'on peut ainsi définir en séquence temporelle :

- action préventive, c'est-à-dire de préparation sur le long terme, puis à l'heure de la montée du péril, par des structures passives : on parlera de « barages contre le risque ».

- action de surveillance, conduisant à l'alerte, sur signes précurseurs ou modèles de prévision « déterministe » ; c'est la fonction de la vigie ou de la sentinelle ; on parlera de « sentinelle intelligente », en fonction de son rôle prédictif.

- action d'intervention, cette fois lors de la catastrophe survenue, en ayant à l'esprit que l'objectif ultime est le retour à une certaine normalité, qui suppose, à échéance, la réhabilitation, c'est-à-dire notamment la reconstruction du secteur urbain dévasté par tremblement de terre ou inondation.

Diagramme 3



La stratégie d'ensemble proposée se place donc au croisement de plusieurs grands axes pour l'action. Cependant, dans une vision globale du problème, il est essentiel de faire intervenir aussi une projection sur le futur. Dans une conjoncture aggravée notamment par le risque d'origine anthropique, les angles de défense contre les risques se trouveront modifiés, et des stratégies nouvelles s'imposeront.

1. Mobilisation des ressources humaines

Il s'agit :

- d'une part de préparer le corps social à certains types d'événements dangereux ; faire en sorte qu'il adhère par le raisonnement aux directives qui lui sont transmises ; développer à cet égard toutes les pratiques de la communication utile, dans une procédure générale que l'on peut qualifier de « défense passive » ;
- d'autre part, d'identifier les « acteurs » qui auront charge de mener les opérations « de terrain », dans la prévention, la préparation et l'intervention, et de contribuer ainsi à la sauvegarde des populations.

On distinguera là, d'un côté, les corps techniques qui ont vocation à ces tâches, et d'un autre côté, les volontariats qui se manifesteront à titre individuel ou par le truchement de leurs Associations, notamment caritatives. Réaliser la formation des uns et des autres, rechercher une osmose, en établissant leur meilleure communication, suffisamment à l'avance, sont deux missions essentielles, qui viendront en préalable à l'organisation proprement dite, fondamentalement basée sur les structures de gestion et les lois qui encadreront leur action.

1.1. *Connaissance des partenaires sociaux*

Il importe d'abord de comprendre le corps social, dans sa perception du risque et ses réactions possibles, face aux contraintes de la préparation et des interventions du « temps réel ». C'est affaire d'analyse socio-politique, qui ressortit au domaine des sciences sociales et varie d'un pays à l'autre en Méditerranée.

On a pu, lors d'enquêtes post-catastrophes, diagnostiquer un certain nombre de blocages psychologiques, vis-à-vis des pouvoirs publics ou des médias. Il est imaginable que dans des sociétés modernes groupant des cultures différentes, certains de ces blocages soient amplifiés par des considérations de religion ou d'idéologie. On demandera alors, pour les surmonter, un effort particulier de communication.

Un fait récent peut compliquer l'analyse : il s'agit du tourisme, qui amène en terre « étrangère », à un instant donné, des dizaines de millions de personnes (le Plan Bleu cite le chiffre possible de 220 millions à l'horizon 2025 sur les seules régions littorales de la Méditerranée), exposées comme les résidents et les quelques 140 millions de touristes nationaux, aux risques naturels possibles. La barrière des langues, la mauvaise connaissance du terrain géographique, les différences dans les habitudes de vie et dans la perception même du risque (un certain « détachement » des soucis et contingences que l'on recherche en période de vacances), constituent, de plusieurs manières, des handicaps qu'il faudra aussi

surmonter, sans doute en se dotant d'abord de moyens de communication multilingues.

Il s'agit, d'autre part, de recenser les acteurs qui pourront participer à la préparation de la « défense passive » en cause, puis intervenir directement pour corriger les effets immédiats et à court terme, de la catastrophe envisagée. Ce recensement s'appliquera éventuellement à trois catégories de personnes :

1.1.1. Les Corps techniques

On désigne ainsi les Corps techniques dépendant de l'Administration (au niveau communal, régional, national), disponibles à la diligence de celle-ci, ainsi que les médecins, qui auront un rôle essentiel dans les premiers secours. Il s'agit aussi des divers corps de métier, pour la fourniture de l'eau et de l'énergie (électricité, gaz) ; le bâti (maçons, installateurs) etc. indispensables pour le rétablissement des fonctions essentielles au niveau du logement et des moyens de vie au quotidien ainsi que des éducateurs du corps professoral, pour leur rôle fondamental dans l'enseignement des principes de base, dans la prévention et dans la formation spécialisée pour la préparation et l'intervention.

1.1.2. Les Associations

On voit bien l'importance, pour l'assistance en secours, des Associations caritatives, au premier rang desquelles la Croix Rouge et le Croissant Rouge. De façon générale, les Associations groupent, pour certains types d'activité, des personnes compétentes et motivées, dont l'aide pourra être requise, le moment venu, en bénévolat (par exemple, les radio-amateurs, qui sont capables de suppléer à des télécommunications défaillantes, et manifestent toujours un esprit remarquable de solidarité et coopération à l'échelle internationale).

1.1.3. Les individualités marquantes

Il est important, dans le cas de catastrophes brutales, de pouvoir disposer du concours de personnalités, dont les qualités humaines, la notoriété et le charisme les désignent pour jouer un rôle d'animateurs, rôle parfois décisif pour l'équilibre socio-psychologique d'une population en état d'angoisse et de doute. Ces personnalités sont parfois connues grâce aux médias, au niveau national ou régional. Mais c'est à l'échelon local, et notamment de la ville, qu'il convient de les identifier et de solliciter par avance leur participation, au moment de la crise.

1.2. Développement de la vie associative

Les autorités responsables de la prévention et de l'intervention ont besoin de « relais » pour communiquer utilement avec la population, et tenir compte de ces réactions et suggestions. Les professions citées au paragraphe précédent sont, en même temps, d'excellents « truchements » avec un large public. C'est le cas des médecins, et du corps médical, en y incluant les personnels des installations hospitalières, qui ont affaire à un public particulièrement « sensible ». C'est le cas des corps de métier du bâtiment, car ceux-ci ont contact, épisodiquement, avec tous les foyers, pour divers besoins domestiques qui se retrouveront amplifiés à l'heure

de la catastrophe naturelle survenue. C'est le cas des éducateurs, parce qu'ils touchent, au départ vers la vie active, la fraction la plus jeune – et éventuellement la plus « réceptive » – de la population.

On considérera que les Associations correspondantes et, de façon générale, toutes les Associations qui sont nées de l'organisation de la vie civile professionnelle ou de l'initiative des « amateurs » dans les divers domaines de l'activité tournée vers l'enrichissement des valeurs personnelles, méritent pleine considération dans l'optique de la réduction des risques, parce qu'elles représentent une communauté, en format réduit mais interprète de larges pans de la grande communauté, et susceptible de créer, en bonne part, le relais souhaité avec celle-ci.

Il y a là, d'autre part, un « vivier » de compétences, savoir-faire et bonnes volontés pour les tâches coopératives, où l'on ne saurait manquer de puiser. On souhaitera donc que soit pris en compte et favorisé le développement de la vie associative en plaçant ce développement à deux niveaux :

- au niveau national, parce que, par effet d'échelle, il est possible d'y rassembler des moyens d'action plus importants et parce que l'on introduit là la possibilité de liaisons internationales ;

- au niveau régional et communal, parce que c'est à ce niveau proche des réalités de terrain, que se tissent les relations les plus solides et les plus permanentes. La proximité géographique reste, même au temps des moyens logistiques les plus performants, un facteur essentiel pour l'action efficace.

Naturellement, le nombre et la dissémination des Associations considérées suppose que l'on encourage, pour qu'elles soient plus facilement consultables, la création de véritables « réseaux », tissu au maillage probablement inégal mais finalement représentatif de la diversité de fonctions et des réactions du corps social, vis-à-vis de cette préoccupation unitaire : la défense contre les risques.

1.3. Organisation de la défense civile : les structures

Il est clair que les structures matérialisant cette organisation peuvent, pour différents pays et différentes régions en Méditerranée, présenter une grande variété, dépendant à la fois des schémas institutionnels et des traditions et habitudes acquises dans les modes de gestion. Mais de manière générale, il paraît possible de respecter deux principes de base, visant à l'efficacité face aux risques.

1.3.1. L'unicité de la décision

Si l'expression de la diversité des points de vue est de règle dans la concertation sur la mise en place de la prévention, y compris l'information préventive, en revanche l'unicité dans la décision est impérative au niveau de la préparation rapprochée et de l'intervention sur l'accident survenu (on emploie ici ce terme d'accident pour marquer une correspondance avec les accidents technologiques comme Seveso ou Tchernobyl qui justifient, en partie, des méthodes opérationnelles comparables, notamment pour la surveillance et les premières interventions de secours ; il y a là possibilité de synergies, susceptibles d'entraîner des économies substantielles, en évitant les doubles emplois).

Ce principe a pour corollaire le groupement, par structures souples, de liaisons entre tous les Départements concernés des Ministères ou organismes spécialisés. Selon l'importance des besoins ressentis (accent mis sur la sismicité ou la sécheresse), les Départements en cause pourraient mettre en place une structure commune ayant pour fonctions organiques :

- d'abord, la constitution de « bases de données » inter-disciplinaires, pour asseoir la préparation et l'évaluation « temps réel » de la catastrophe sur des bases totalement objectives, qui prendront en compte les éléments archivés ou d'enquête récente sur « l'état initial », en termes géophysiques et sociaux – avant la crise attendue – et le résultat des études sur retour d'expérience de catastrophes passées (dans le pays et en pays voisins, dans le cadre d'une coopération instaurée) ;

- ensuite, la consultation, aussi permanente que nécessaire, de l'ensemble des Ministères et organismes spécialisés, en recherchant tous les points de convergence sur la définition des mesures à prendre au stade préventif ;

- enfin, la mise au point et l'exécution d'un plan d'intervention préparatoire, basé sur les spécifications d'un « scénario de crise ». De façon très souhaitable, ce scénario prendrait la forme d'un modèle numérique, préalablement testé en simulations de situations de référence, et dont les données d'entrée ne seraient effectivement connues que dans la phase critique de la crise, mais suffisamment indicatif, à l'avance, sur les meilleurs « chemins de pertinence » pour en atténuer les effets.

Cette structure commune disposerait naturellement des moyens d'action convenables (pouvoir de décision ; financement).

1.3.2. La décentralisation de la décision

On conçoit que le facteur de proximité est déterminant pour évaluer et parer aux conséquences immédiates du sinistre : c'est le cas, à l'évidence, pour une grande ville. L'autorité communale doit alors prendre en charge les premiers secours. Mais l'ampleur de la catastrophe justifiera, dans un deuxième stade, qu'intervienne l'échelon supérieur de la région (ou province), qui dispose de moyens augmentés, par la coordination et la mise en service effectif des moyens en personnel et en matériel de collectivités voisines (sans pour autant diminuer excessivement les défenses de celles-ci, qui peuvent être affectées par les contre-coups de l'événement en cause : que l'on pense aux inondations « en chaîne » ou aux répliques sismiques).

Enfin, dans le cas d'un véritable cataclysme qui relève alors du niveau national par sa dimension, son intensité et le nombre d'existences humaines mises en péril, les structures du niveau national : Ministères, organismes ministériels et grandes entités techniques (par exemple : électricité, télécommunications), prendront en charge le problème – c'est-à-dire la coordination – des moyens correspondants.

Cette articulation existe aujourd'hui dans la plupart des pays méditerranéens ; elle peut encore valablement être renforcée, notamment dans l'échange des informations de la période « neutre », puis de la période « montée du risque », où il est important de déterminer à l'avance la ligne stratégique qui pourra être adoptée.

1.4. Organisation de la défense civile : le droit et la loi

La défense civile contre les risques repose de façon concrète sur une organisation, dont on a défini les deux grands axes directeurs : unité de décision, décentralisation de l'action (du moins au premier stade). Cette organisation s'appuie elle-même sur la loi, qui régit deux fonctions :

- fixer les objectifs, et les structures administratives qui ont à charge de gérer les activités nationales, provinciales et locales, en vue de maîtriser finalement les conséquences de la catastrophe ;
- définir – à tous égards – les responsabilités au sein de la communauté nationale, sur les plans de la prévention, de l'engagement opérationnel et des finances – y compris les composantes « assurances » et « compensation globale » (qui fait intervenir l'État) pour les dommages subis.

La Loi procède d'un fondement juridique, le Droit, et génère des réglementations particulières destinées à la mettre en application. Le Droit, la Loi, la Réglementation constituent trois étapes pour une réflexion générale sur le risque et sa gestion : cette réflexion est aujourd'hui engagée ; il conviendrait de la mener à son terme, au double niveau national et désormais international – car la régionalisation, voire la mondialisation, des techniques se traduit par des interdépendances, qui peuvent réclamer des adaptations ou harmonisations aux trois niveaux considérés.

En Méditerranée, on en trouvera des exemples dans les domaines suivants :

a) *Au plan international*

- la *navigation aérienne* : les conditions de gestion de l'espace aérien peuvent être modifiées en cas de catastrophe, pour l'acheminement rapide des secours ;
- les *télécommunications* : en situation de crise, des priorités d'accès, éventuellement des réductions tarifaires, pourraient être accordées sur le réseau international, pour les concertations lors de la montée de crise et de l'intervention.

b) *Au plan national*

- le *droit d'utilisation des sols* peut subir des aménagements importants en fonction des besoins de sécurité (extensions urbaines, disponibilités des accès, etc.)
- le *droit de l'eau* recouvre tous les aspects de la gestion de l'eau, de la création de la ressource elle-même à la répartition de cette ressource en agissant sur l'offre mais aussi, et de plus en plus, en maîtrisant la demande. La prévention du risque naturel doit logiquement y intervenir pour traiter le cas des inondations (entretien des cours d'eau ; régulation des écoulements ; réglementation des constructions). Il va de soi que la prise en compte du risque sécheresse donne une autre dimension aux questions de ce droit de l'eau, concernant la ressource elle-même : ici encore le droit national rejoint les préoccupations d'ajustement du droit international (cours d'eau – et nappes aquifères transfrontières).

1.5. La formation

En matière de risques naturels, la formation se propose deux types d'objectifs :

- d'une part, donner à la population, susceptible d'être menacée dans un futur à date imprécise, les enseignements utiles pour lui permettre, d'abord de

comprendre la nature du risque en cause (on ne saurait réagir correctement sans comprendre), ensuite d'avoir les bonnes réactions personnelles et collectives (que l'on appellera les actes-réflexes de protection), et enfin, d'adhérer de façon raisonnée aux directives émises par l'Autorité responsable. Il s'agit là de l'éducation scolaire, prolongée par différents moyens que l'on analyse plus loin.

– d'autre part, donner aux Autorités responsables, l'information technique de base, puis constamment affinée à mesure des progrès des techniques, qui leur permettra de faire face aux missions qui leur sont assignées, soit au niveau de la gestion du risque (préparation et, le moment venu : gestion de la crise), soit au niveau des opérations-terrain, pour la prévention et l'intervention. Ce deuxième type d'enseignement sera dispensé, en phase post-scolaire, soit à l'Université, ou dans les Écoles Techniques, soit – complémentirement – à l'occasion de stages spécialisés organisés par les Pouvoirs publics ou les entreprises (éventuellement jumelés, au moins en partie, avec les stages consacrés à la réduction des risques industriels).

1.5.1. L'éducation scolaire

L'enfant dispose d'une merveilleuse capacité à emmagasiner des connaissances, à condition qu'elles lui soient présentées sous une forme assimilable, concrète et progressive. Ceci vaut pleinement pour une information sur les risques, qui pourra s'insérer dans les cours d'histoire et géographie, de sciences naturelles, de droits et devoirs civiques, etc. D'autre part, l'enfant développe une réceptivité particulière vis-à-vis du « fait humain » – et par conséquent, peut être sensibilisé à tout ce qui touche l'action de solidarité collective en situation de catastrophe.

Ce sont là deux directions souhaitables pour l'enseignement au niveau scolaire. Elles appellent toutes deux un recours aux moyens d'expression modernes, qui privilégient l'image et l'animation de l'image.

Les techniques correspondantes permettent d'imaginer des variantes multiples autour du schéma qui suit. Il y aura d'abord la présentation du terrain, restituant les trois dimensions d'un paysage ou d'un site urbain, rappelant à l'enfant, avec des modifications qu'il suggérera, un cadre qui lui est familier.

Il y aura, d'autre part, la figuration des personnages qui sont destinés à « participer » à la catastrophe – dans les représentations de la vie quotidienne (vie domestique, scènes de la rue), de la vie professionnelle (artisanat, activités paysannes) et, de façon générale, des mouvements qui animent ces personnages en temps normal.

Il y aura, dans les séquences suivantes, la représentation de l'événement lui-même, dans ses prémices qui peuvent engendrer de l'inquiétude (signes précurseurs d'un séisme, révélés par le comportement des animaux ; aggravation nuageuse, annonciatrice de la pluie diluvienne), puis dans le déclenchement brutal (on montrera en contrepoint, l'horaire des séquences accélérées) ; enfin les réactions individuelles et les réactions collectives, qui, précisément faute d'une formation convenable, peuvent conduire à aggraver la catastrophe – pertes de contrôle par effet de panique : dysfonctionnements liés à une coordination insuffisante.

A partir de ce tableau animé, la réalité virtuelle a la capacité de modifier le cours des choses, ce qui apparaîtra par retouches successives du scénario de la crise, où le comportement raisonné des hommes et des femmes permettra de maîtriser les conséquences du sinistre. Un tel enseignement sera particulièrement efficace dans une société où les « jeux vidéo » apprennent à l'enfant, très tôt, à interpréter l'image animée et les variantes de son animation.

On considérera donc que les techniques d'animation virtuelle deviendront fondamentales, dès les premiers âges, pour la connaissance des risques naturels ; et seront susceptibles d'induire des actes-réflexes, utiles en toute hypothèse dans la suite de l'existence.

Dans la deuxième phase post-scolaire, où les acquis ont chance de s'estomper, il sera important de les « rafraîchir » de différentes manières :

- par *l'affichage*, en lieux publics, c'est-à-dire aux points de passage obligé (les transports en commun) ou de rassemblement (comme les stades) de quelques informations fondamentales pour le cas de catastrophe naturelle. Le style même de cet affichage devrait être à la fois convenablement discret (sans pression psychologique trop forte) et convenablement suggestif (pour marquer les esprits, en suggérant des comportements réflexes).

Une initiative grecque, très astucieuse, consiste à placer un petit « billet » de rappel du risque sismique et des précautions à prendre vis-à-vis de celui-ci dans les correspondances officielles relatives aux impôts (en notant que les enveloppes, à la différence de certains courriers publicitaires, ont alors toutes chances d'être ouvertes...). A l'âge de l'école, une affiche bien conçue peut suggérer efficacement un jeu de questions – réponses entre les élèves et les professeurs.

- par les *médias*. La force de conviction des différents médias (presse, radio, télévision) représente aujourd'hui l'outil le plus efficace pour la diffusion des connaissances et, d'une certaine manière, pour les applications pratiques qui en découlent.

C'est affaire, au niveau des journalistes eux-mêmes, du rassemblement d'une sérieuse documentation de base et d'une bonne qualité de présentation. La question de forme ne doit pas occulter la question de fond, et on privilégiera le souci du concret (l'image plutôt que le discours), la progressivité (dans le sens de l'approfondissement du thème traité, ce qui suppose des séries, et non pas des sujets isolés) et enfin le souci d'explication.

C'est là d'ailleurs parfois un point d'incompréhension, voire de blocage, entre informateurs et praticiens, ces derniers redoutant à la fois, les simplifications qu'ils jugent abusives, les faux-sens qui s'introduisent du fait d'une sémantique approximative, et les contresens éventuels. On pourra se référer, sur ces problèmes, au cas des présentateurs d'information météorologique, pour lesquels la concertation est bien établie et efficace dans la plupart des pays méditerranéens.

1.5.2. L'éducation spécialisée post scolaire

Cette éducation de type universitaire désigne en fait les « filières » universitaires proprement dites, l'enseignement dans les Écoles techniques, et les stages spécialisés d'apprentissage et de confirmation, organisés en vue de la réduction des risques naturels.

a) La voie universitaire

Cette voie débouche, par nature, dans deux directions : l'éducation et la recherche.

En ce qui concerne la voie éducation, l'analyse précédente de l'enseignement de type scolaire suggère que les styles traditionnels demandent à être adaptés à certains progrès technologiques ; mais il faut aussi compter avec des évolutions socio-psychologiques, qui demandent davantage au dialogue étudiants-éducateurs. Des travaux pratiques pourraient ainsi être conçus suivant de nouvelles formules, où la réalité virtuelle jouera un rôle important. Le compartiment sciences physiques viendra ici en osmose avec le compartiment sciences sociales, dans le souci de faire fond sur la preuve concrète (notamment par l'image) et sur l'emboîtement nécessaire des programmes professés dans des disciplines séparées.

En ce qui concerne la voie recherche, elle demande ainsi, au départ, des étudiants motivés par l'action initiatique, et souvent charismatique, du corps professoral. Faisant abstraction des aspects de carrière, qui sont effectivement limités à ce jour mais ne manqueront pas de déboucher à moyen terme en fonction des besoins très réels qui seront ressentis par la communauté préoccupée par l'environnement agressé autant qu'agressif, les perspectives pour la recherche en matière de risques naturels sont nombreuses. Elles offrent un champ de découvertes potentielles extrêmement valorisantes pour les chercheurs à titre individuel, et plus encore, pour les équipes de chercheurs, compte tenu de la nécessité d'un travail multi-disciplinaire.

On se bornera à citer ici les bonds en avant promis pour la recherche, par exemple en matière de prévisions géophysiques : prévision du climat (sécheresse, pluie provoquée, etc.), prévision des mouvements de la terre solide, (glissements de terrain, tremblements de terre et volcans).

b) La voie des écoles techniques

La réduction des catastrophes naturelles passant par la mise en œuvre des ressources techniques, demande une maîtrise absolue de celles-ci, en tant qu'outils s'intégrant dans un ensemble de voies et moyens gérés par les organisations responsables. Il y a donc nécessité de formation, au niveau de la connaissance des techniques proprement dites et à celui de leur mise en œuvre coordonnée, dans le cadre d'un véritable « système ».

Les Écoles techniques ont, de ces deux points de vue, un rôle important à jouer dans l'apprentissage, puis la confirmation en quelque sorte « en vraie grandeur », de la maîtrise de l'outil. Les enseignements assurés dans les Écoles spécialisées, doivent couvrir tous les domaines de l'action de lutte contre les risques, au stade de la prévention où les besoins principaux concernent les travaux publics, l'hydraulique, les installations électriques ; au stade de la surveillance (dispositifs d'observation électronique, satellites et radars ; télécommunications) ; et au stade de l'intervention sur le terrain (médecine ; logistique générale : moyens de transport et de communication). Peut-être sera-t-il utile d'insister, dans ces enseignements généraux, sur l'application particulière que l'on a en vue, et certaines spécifications associées :

- facilité d'emploi des matériels, placés dans des conditions « rustiques » (par exemple, insuffisance de l'alimentation électrique ; travail de nuit, par éclairage éventuellement défaillant) ;

- simplification des procédures, en cas d'une utilisation non sophistiquée et précaire (par exemple, menace de répliques dans le cas d'un séisme).

L'organisation prévue dans la doctrine établie *a priori*, et soudain confrontée à une réalité inattendue, devra être assouplie en fonction de cette réalité. L'enseignement purement doctrinal devra donc faire une place à l'enseignement d'ordre pragmatique, dans lequel on fera intervenir, à la fois une flexibilité dans l'emploi des moyens, et le recours à la mémoire expérimentale, que l'on aura pu conserver grâce aux « systèmes-experts » de la discipline en cause, dérivés de l'expérience de catastrophes antérieures. De tels correctifs pourront faire l'objet d'enseignements particuliers dans des stages spécialement organisés dans ce but.

c) Les stages de lutte anti-risques

La coordination demandée de l'ensemble des voies et moyens mobilisables dans la stratégie contre les risques, suppose elle-même un apprentissage et une confirmation de savoir-faire, pour tous les acteurs responsables. Tel sera l'objet de stages « spécialisés » ayant pour triple objectif :

- l'accroissement et la mise à jour des connaissances techniques pour tous les domaines traités,

- le perfectionnement des modes de gestion, dans leur partie automatisée (sur logiciels préétablis) et dans leur partie décisionnelle (responsabilité de la décision de choix),

- les moyens d'inter-communication du renseignement et des décisions.

Dans cet ensemble d'objectifs, on trouvera le souci commun d'adopter, souvent de créer, un langage plus facilement accessible à l'ensemble de ces acteurs, d'origine et de vocation professionnelle très différente. On fera, d'autre part, une place nouvelle aux techniques de « démonstration » moderne, et en particulier, aux techniques de la réalité virtuelle.

Sur des schémas tels que celui évoqué précédemment pour l'enseignement scolaire, les stages mettront en évidence pour chaque scénario de catastrophe, la sensibilité à la diversité des « situations d'entrée » concevables et à la perception *a priori* des réactions individuelles et collectives. Dans ce but, on demandera aux stagiaires eux-mêmes de « prendre les manettes » à l'exemple du pilotage de véhicules à fonctionnement complexe, comme celui des avions. Cet apprentissage montrera qu'il faut faire intervenir, dans la prise de décisions, deux facteurs parfois antagonistes : la satisfaction des besoins immédiats et la prise en compte de l'évolution probable (ou estimée) pour les besoins futurs, parfois à court terme.

De tels stages peuvent jouer un rôle décisif dans l'organisation de la lutte contre les risques. On y associera tous les « praticiens » concernés, c'est-à-dire les techniciens, au sens le plus large du terme, les gestionnaires au niveau des administrations de tutelle, et les planificateurs ayant charge de définir le cadre prospectif pour l'amélioration de la défense civile.

1.5.3. La communication

Les leçons des catastrophes d'un passé lointain, comme les leçons des catastrophes les plus récentes, que l'on groupe dans l'expression : le « retour d'expérience », mettent en lumière un déficit de communication qui a pu être la source de pertes en vies humaines et de dommages augmentés.

a) *Le dialogue responsables – population*

Le besoin de communication apparaît d'abord au stade de la prévention, en période que l'on peut appeler neutre. Il s'agit d'une part, de justifier des mesures préventives *a priori* coûteuses (infrastructures, routes et barrages) ; d'autre part, de demander une adhésion, en quelque sorte émotionnelle autant qu'intellectuelle, aux plans prévus – et convenablement décrits avec toutes précisions nécessaires pour la période de crise. C'est un langage parfois nouveau, qu'il faut ainsi maintenir ou créer.

Du côté du décideur-responsable, il y aura le souci de rendre ce langage parfaitement clair et compréhensible au niveau de l'homme de la rue. La difficulté est réelle : la notion de probabilité d'un événement physique dont on ne maîtrise pas totalement les causes, l'incertitude sur sa localisation dans l'espace et dans le temps (avec le couplage de ces aspects), et même la formulation des directives pour la sauvegarde individuelle et collective, peuvent être mal comprises ; il faut tenir compte de la réceptivité du public auquel on s'adresse. On procédera donc par touches successives, illustrées de façon très concrète, par des exemples, nombreux et choisis avec un soin particulier (en évitant des réfutations possibles, du type « comparaison n'est pas raison »). Le ton même du message devra être empreint de chaleur humaine, en excluant la suffisance que l'on attribue aux « hommes de savoir ». En somme, il s'agit d'instaurer un dialogue entre gens de bonne volonté, avec le commun désir d'être franc et précis, s'accrochant aux faits pour en tirer les conséquences logiques, et d'entraîner, de la sorte, une adhésion raisonnée à la demande des décideurs responsables.

Symétriquement, le public pourra se manifester, par l'intermédiaire des pouvoirs de proximité, notamment au niveau local/communal et par le truchement des organisations associatives. Les questions posées, auxquelles par avance, il conviendra de préparer et apporter réponse, traduiront deux préoccupations essentielles :

- que se passera-t-il ? (réponse dans l'esprit de : « il faut comprendre pour prévoir » : « apprenons le risque »)
- que faire pour parer à la catastrophe ? (réponse : il faut doublement renforcer les moyens de la prévention et de l'intervention, au plan personnel comme au plan collectif).

La qualité du dialogue établi aura une influence décisive sur le comportement collectif en cas de catastrophe, en évitant le flux possible de décisions irrationnelles. Mais elle pourra aussi susciter des attitudes volontaristes pour aider, au stade de la prévention (par exemple, entretien des berges des rivières ou débroussaillage des forêts proches) et au stade de l'intervention (aides aux équipes de secours ; initiatives pour la sauvegarde des personnes handicapées ou isolées, etc.).

b) La communication de crise

Pour qui subit de l'intérieur la catastrophe survenue de façon brutale, le monde environnant devient, littéralement, incompréhensible ; le paysage est totalement modifié : les voisinages familiers s'éloignent ou disparaissent. L'avenir immédiat paraît sans issue.

Le cas d'une inondation illustre cet isolement : routes, chemins et autres repères « géographiques » sont gommés par la lame d'eau : les distances sont soudain démesurément accrues ; petits commerces et points de liaison habituels avec le voisinage deviennent quasi inaccessibles. A l'isolement se mêle l'horreur lorsque, dans le cas d'un tremblement de terre, le bouleversement physique de la cité s'accompagne de la révélation brutale du nombre des victimes et de la gravité des blessures. Pire encore est la situation de nuit, lorsque tous les repères lumineux s'éteignent par l'effet du sinistre. Dans le même temps, les moyens matériels de communication comme le téléphone sont coupés.

Il y a, chaque fois, déficit grave ou perte de la communication, qui apparaît bien, finalement, comme le ciment de la vie sociale, désagréé par la crise. Le rétablissement de la communication est ainsi la condition première pour identifier les besoins de secours les plus pressants, mais aussi, et surtout parfois, rétablir, au sein de la population durement affectée, des sentiments de lucidité, sang-froid et, finalement, de confiance dans une issue rassurante. Une voix, même lointaine, faute de pouvoir toujours renseigner avec la précision souhaitable, apporte un réconfort et l'assurance d'une solidarité. De ce point de vue, la présence de psycho-sociologues dans le dispositif d'intervention, peut être précieuse, car il est essentiel de connaître *a priori*, les réactions humaines, en tenant compte de tel ou tel clivage social, idéologique ou culturel (y compris religieux).

Pour cette communication d'une certaine manière personnalisée, une innovation technologique vient, à point nommé, favoriser un véritable bond en avant dans l'efficacité. Il s'agit du téléphone portable (cellulaire ou mobile). Le téléphone portable, d'usage bientôt généralisé par l'adoption des relais-satellites en constellation, donnera la possibilité de multiplier les dialogues de personne à personne, soit qu'il s'agisse des opérateurs sur le terrain, pour des fonctions opérationnelles, soit qu'il s'agisse de la population des sinistrés, pour un soutien moral également indispensable.

Cette deuxième fonction sera amplifiée par une action au niveau de la télévision. On connaît l'impact psychologique fort, qui est associé à ce média, parce que l'image et le propos y interviennent généralement de façon très efficace en une sorte d'itération en « point – contrepoint ». La télévision permet en outre une représentation cartographique de la zone touchée par la catastrophe, et peut donner, par conséquent, des directives proprement visuelles sur les voies d'accès et de secours, points de regroupement, etc.

Ce qui précède s'applique surtout aux risques naturels à survenance brutale. En ce qui concerne le risque de sécheresse, la communication se fera sur un registre différent, selon qu'il s'agit des populations paysannes vivant directement de l'agriculture, ou des résidents en sites urbains.

En facteur commun, il faudra insister, dès l'éducation première, sur la rareté croissante de cette ressource vitale qui est l'eau en Méditerranée ; et, en consé-

quence, du prix, au plein sens du terme, qu'il faudra consentir pour s'en assurer, non plus la libre disposition, mais l'usage réparti – voire rationné. Le schéma, dicté par la contrainte naturelle du climat et de son évolution prévisible, sera proposé à tous, dans un esprit d'équité. Il s'agit, en un mot, de responsabiliser chacun au profit de tous.

Mais pour le monde paysan, la sécheresse signifiera, d'abord, des sacrifices importants (perte de récoltes et de bétail, dessiccation des sols, érosion éolienne, endettement, etc.). Aussi est-il impératif de communiquer au monde rural en temps utile toutes informations disponibles sur les risques de sécheresse, dans la mesure où les prévisions météorologiques le permettent, et sur les conseils pratiques qui peuvent y être associés.

2. Techniques de lutte contre les risques

2.1. Barrages contre le risque

La prévention, puis la préparation, visent à limiter *a priori* les effets de la catastrophe attendue, en se plaçant dans la phase « d'attente » de cette catastrophe. Phase neutre, tant que l'observation montre – et confirme sur une durée suffisante – la stabilité des éléments naturels. Phase accélérée, lorsque les signes observés, puis la prévision effective, donnent l'indication d'une instabilité croissante, avec montée du risque en termes de probabilité.

Selon une sémantique acceptable, la prévention désigne plutôt, pendant la « phase neutre », l'ensemble des réalisations d'infrastructure destinées à réduire les conséquences de la catastrophe (barrages écrêteurs, endiguements, fondations du bâti et architecture urbaine générale...).

La préparation se rapporte plutôt aux dispositions à prendre dans la phase accélérée de la montée du danger.

Il y a, naturellement, coordination et emboîtement temporel entre ces deux modes de précaution pré-catastrophe, qui s'apparentent à une « défense passive ». On parlera ici de « barrages contre le risque » au sens où, faute évidemment de pouvoir freiner ou arrêter ce dernier par un véritable mur de protection, car les moyens physiques de la communauté humaine seront, longtemps encore, hors de proportion avec la puissance des éléments naturels en crise, on se préoccupera de contenir ou réduire ses impacts, tout en permettant aux futures forces d'intervention de s'appuyer sur une « base arrière » solide, éprouvée et fiable, parce qu'établie en temps convenable, durant la période de sérénité.

2.1.1. Connaissance du risque

La connaissance *a priori* du risque, indispensable pour la prévention et la préparation, viendra en bonne part des informations dont on peut disposer sur des situations antérieures ayant affecté la zone à protéger : c'est le principe du « retour d'expérience ».

Ces informations proviendront d'enquêtes, à mener à partir d'éléments bibliographiques archivés, en conjuguant les descriptions directes, si possible assorties de relevés d'observation numériques, avec les données dites de proximité qui permettent de recouper les sources précédentes.

On privilégiera, à cet égard, la consultation des témoins, qui auront pu dans un passé encore récent, relever des indications intéressantes dans l'ordre physique (à titre d'exemple, la hauteur d'une crue subite ou le trajet d'une coulée de lave) et dans l'ordre des impacts sociaux (perception de la catastrophe ; dysfonctionnement de la vie civile).

Il va de soi que la qualité générale de ces informations va se dégrader au fil du temps (dissémination intempestive des archives ; modification du paysage : erreurs de mémoire individuelle). On cherchera donc à pratiquer de telles enquêtes de retour d'expérience, aussi près que possible, dans le temps, de l'événement survenu.

Pour les favoriser dans le futur – sans hypothèse *a priori* sur le site d'une possible catastrophe – on préconisera la densification géographique des moyens d'observation des événements extrêmes. Ceci peut concerner, en météorologie, la connaissance du vent maximal, enregistré par anémomètre à dynamique augmentée, mais aussi l'enregistrement des images « locales » du phénomène survenu, par simple photographie de « l'état du ciel » ou du « scope radar », qui deviendront des atouts précieux pour la prévision. Ceci concernera en sismologie, l'enregistrement des « mouvements forts », c'est-à-dire les caractéristiques accélérométriques du séisme en cause, (premier choc et répliques), paramètres essentiels pour les constructions à venir.

Bien entendu, la technique du retour d'expérience n'est totalement praticable que dans le cas où l'on aura eu affaire à des événements antérieurs d'intensité significative sur le même site. Dans le cas contraire, on pourra bénéficier, dans le cadre d'une coopération internationale, de la possibilité de mener enquête en collaboration avec les équipes d'un pays voisin qui aurait été affecté par une catastrophe de même nature.

Le mot « enquête » pourra ainsi s'étendre à des études d'inter-comparaison entre phénomènes semblables, dans les deux pays concernés, avec le même objectif de connaissance des causes et des impacts. On voit bien les applications intéressantes d'un tel type de coopération sur le pourtour méditerranéen. Ainsi, les inondations par ruissellement torrentiel qui se sont produites, à Sfax (Tunisie) en 1982, et à Nîmes (France) en 1988, dans des sites d'orographie ouverte comparables, peuvent servir de référence « expérimentale » utile pour la prévision de ce type de phénomène (assez sensiblement différent de la crue torrentielle en vallée encaissée). De même, « la bombe » météorologique (amas giratoire de cumulonimbus formé en mer, générateur de précipitations diluviennes sur la zone côtière adjacente), comme celle observée à Thessalonique (Grèce) en 1978, a valeur de modèle pour ce type de perturbation cyclonique, en Méditerranée occidentale et orientale. Dans le cas des séismes, le tremblement de terre du Caire (Égypte) en 1992, vient en correspondance, par exemple, avec celui de Skopje de 1963, en considération de certaines similitudes sur la distribution de plusieurs types de bâti, avec application à l'évaluation de la vulnérabilité des ensembles urbains.

2.1.2. Infrastructures défensives urbaines

La ville est triplement sensible aux risques naturels :

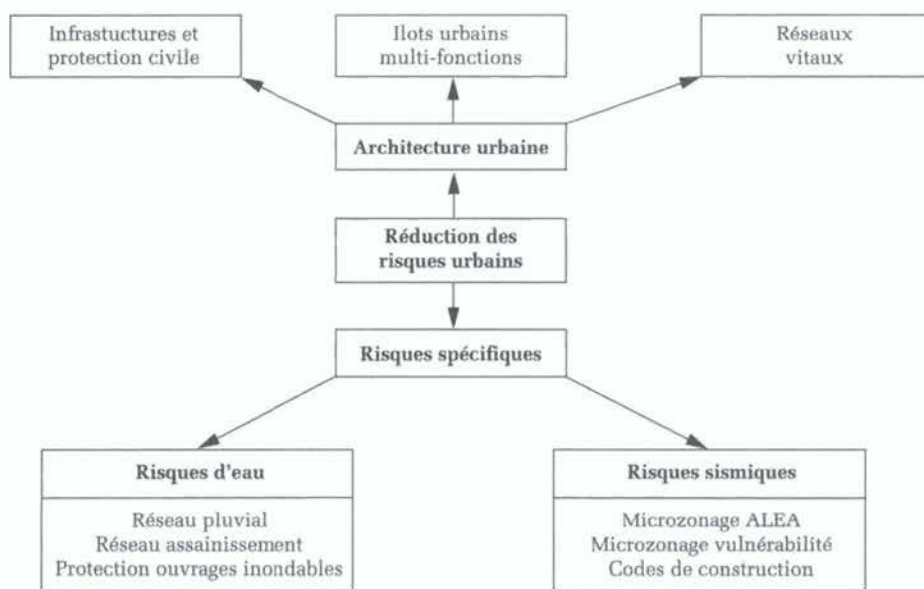
(i) par l'accumulation d'habitations à usage individuel ou collectif, l'importance et la densité du peuplement urbain et la concentration d'activités à caractère

artisanal, industriel, commercial, culturel et récréatif La vulnérabilité de cet ensemble est donc double, puisque la menace sur les personnes s'accompagne éventuellement d'une perte d'activités (destruction ou endommagement de l'outil de travail). On notera évidemment la différence qui existe entre le bâti ancien du cœur de la ville, dont la fragilité est à la mesure des insuffisances éventuelles de la technologie des temps passés (murs de torchis, défaut de chaînage, arrimage insuffisant des toitures) ; et les immeubles plus modernes, où l'usage de matériaux comme le béton et une architecture plus saine garantissent une protection sensiblement meilleure contre le risque, notamment le risque sismique, si les codes de construction, les pratiques constructives et le contrôle de qualité ont bien été respectés.

(ii) par sa texture, qui fait coexister, dans la plupart des grandes cités méditerranéennes, un centre ville ancien, victime de congestion parce que le trafic y est contraint à des ralentissements et blocages du fait de l'imbrication des petites voies de circulation, et un ensemble périphérique en extension continue, insuffisamment relié au centre ville, où sont encore concentrées en bonne partie, les activités requérant beaucoup de personnel, avec comme conséquence le problème du transport quotidien de celui-ci, qui constitue une deuxième cause de congestion urbaine.

(iii) par ses réseaux vitaux, qui l'assimilent à un écosystème, avec la circulation des personnes (transports urbains ; voies d'évacuation des populations et d'accès des équipes de secours), la circulation des matières (eau potable, produits alimentaires, déchets), la circulation de l'énergie et la circulation de l'information (communications filaires et hertziennes).

Diagramme 4



Ces circulations fragiles sont menacées en cas de survenance d'un risque naturel, l'interruption des moyens de transport (destruction de ponts et autres ouvrages d'art, flexion des rails de chemin de fer, tramways, métro) ; la destruction ou l'endommagement des infrastructures (barrages ; stations d'épuration, rupture des conduites d'eau) et la coupure des lignes électriques et téléphoniques, posent un vaste ensemble de problèmes, qui appellent un arsenal de mesures correctives décrites ci-après :

(a) en premier lieu, il s'agit de l'établissement d'un plan d'utilisation ou plan d'occupation des sols (POS) qui tiendra compte, d'une part, de l'existence de zones plus spécialement dangereuses (failles sismiques, collecteurs d'écoulement des eaux ; affaissement et mouvements de terrain) ; et d'autre part, de l'imbrication des zones d'habitations de construction ancienne et moderne, et des zones d'activité, avec leurs inter-relations diverses, notamment au niveau des transports et des voies d'accès. Ces deux éléments concernent à la fois l'aléa physique (micro-zonage) et la vulnérabilité (pertes humaines, endommagements). Ils demandent à être cartographiés à l'échelle convenable (peut-être le 1/25 000^e). Les cartes ainsi obtenues pourront alors être superposées pour définir les niveaux de priorité des actions de prévention à entreprendre.

(b) en deuxième lieu, il s'agit de vérifications et de contrôles, concernant la vétusté, et donc l'état de dégradation et la vulnérabilité proprement physique des installations, concernant l'habitat lui-même, les infrastructures (ouvrages d'art), les réseaux externes, (canalisations, lignes électriques, etc.) ainsi que les moyens de surveillance en temps réel (fidélité des capteurs et des transmissions associées, automaticité des signaux d'alerte).

(c) l'optimisation des modes de construction, dans le sens de la meilleure sauvegarde contre les atteintes au bâti. Ceci comporte :

- l'adoption d'architectures de protection (cas des risques sismiques) pour lesquelles la géométrie d'ensemble est compactée (absence de redans, relations d'appui entre bâtiments adjacents) de même que les agencements intérieurs entre murs, planchers et plafonds, conçus pour se renforcer mutuellement ; les chaînages de bois et d'acier convenablement disposées pourront renforcer les vieilles habitations ;

- le respect des codes de construction, systématisant les règles « de bon sens » précédentes, les codes de calcul de résistance de structures, l'utilisation des divers matériaux, etc. On notera à cet égard, que le Bassin méditerranéen, en raison de sa sensibilité au risque sismique, a vu proliférer les versions nationales de tels codes. Une harmonisation serait certainement souhaitable à terme, pour faciliter le travail des opérateurs-terrain.

- la surveillance des pratiques de construction, qui concerne, en particulier, le choix des bons matériaux et le suivi attentif du projet.

2.2. *La sentinelle intelligente*

Qu'on l'appelle le veilleur, la vigie ou la sentinelle, il doit jour et de nuit, remplir une triple mission : détecter le risque éventuel, vérifier son approche et, si possible, sa nature et ses « intentions », alerter les responsables. Par analogie, les mêmes fonctions doivent être remplies pour la réduction des risques naturels.

Mais la fonction « sentinelle » ira ici beaucoup plus loin, en y ajoutant la prévision de l'événement futur, la localisation de son émergence dans l'espace et le temps, son intensité et sa durée, en un mot le profil de son évolution. D'où le choix de l'expression de « sentinelle intelligente », qui s'applique tout particulièrement au risque hydrométéorologique.

Diagramme 5



2.2.1. La surveillance : les réseaux-sol

La notion de surveillance implique la continuité de l'observation dans l'espace et le temps. Ceci suppose des réseaux de stations au sol, de densité convenable, renseignant d'une façon permanente ou semi-permanente, par des observations fiables, c'est-à-dire, en particulier, maintenues, en cas de catastrophe naturelle ; et fidèles, c'est-à-dire de qualité égale au fil du temps (dérive des senseurs physiques), mais aussi aisément consultables, c'est-à-dire transmissibles sur demande par divers moyens de télécommunication.

La densité spatio-temporelle des stations d'un réseau peut être variable, en considération du fait que la densité optimale, définie en particulier à partir des retours d'expérience pour le risque en cause, n'est pas nécessaire en période de calme. Cependant, la réactivation d'un réseau mis en sommeil temporaire, peut demander, vérifications de fonctionnement comprises, un temps assez long. Tout dépend donc, dans le cas du risque d'inondation de la qualité de la prévision à court – moyen terme qui permettra, en temps utile, de déclencher cette réactivation.

Un réseau, en réalité, est discontinu par nature, mais doit disposer d'un maillage espace et temps suffisamment étroit pour permettre des « lissages » valables, tenant compte de l'incertitude sur la précision de la mesure pour pratiquer toutes interpolations et extrapolations nécessaires.

Le réseau classique comporte des postes d'observation tenus par des opérateurs humains qui ont le grand avantage de pouvoir être consultés sur leur perception des conditions physiques dans leur environnement ; mais qui, en revanche, comportent des risques d'absence ou de moindre vigilance des personnels (postes d'information isolés ; prestations de bénévoles).

De manière de plus en plus générale, les réseaux sont et seront construits en structure automatisée, qui requièrent une maintenance, c'est-à-dire des visites à intervalles réguliers d'une équipe itinérante. Cette automatisation pourrait se développer dans une direction inédite, à savoir l'utilisation de petites stations (dites parfois : « stationnettes ») mobiles, dont la position sera obtenue par le système satellitaire GPS (Global Positioning System) ; la station réceptrice du GPS transmettra cette position dans ses messages complets. Ce concept sera applicable aux mesures sur navires en mer et tout autant aux mesures en zones continentales, en plaçant des capteurs sur des véhicules en constant déplacement, tels les chemins de fer, les camions, les péniches, etc.

2.2.2. La surveillance : radar et satellites

La continuité absolue espace et temps de l'observation, qui ne peut être physiquement obtenue par les réseaux maillés, paraît, en revanche, accessible à deux instruments nouveaux, au développement prometteur, radars et satellites, qui opèrent à distance, en survol de la scène terrestre.

Ces deux instruments sont effectivement capables d'assurer des fonctions d'œil artificiel, sur des surfaces étendues de la géographie terrestre soumise au risque : le cercle d'acquisition du radar est en pratique de l'ordre de la centaine de kilomètres ; pour le cercle d'acquisition du satellite, pointant au nadir (verticale inférieure) les mêmes distances d'acquisition dépassent le millier de kilomètres. Mais leur défaut commun est évidemment, outre les limites dans la finesse de perception (pouvoir de résolution) qui, s'agissant des nuages et de la pluie, par exemple, ne descend guère au-dessous du kilomètre et peut être insuffisant pour un certain type de prévision, l'incapacité d'accéder à l'ensemble des autres mesures utiles pour cette prévision.

Il y aura donc, nécessairement, complémentarité entre les deux techniques.

Dans un futur qui n'est plus trop lointain, de véritables radars installés à bord des satellites, joueront un rôle décisif pour l'analyse du phénomène des pluies diluviennes.

On rappellera, d'autre part, que le satellite apporte une fonction d'appui véritablement unique à la prévision météorologique, au moins à l'échelle de dimensions dite « synoptique » : il est, en effet, capable de restituer, par radiométrie en quelque sorte différentielle, le profil vertical des températures, et de l'eau – vapeur dans l'atmosphère : toutes indications essentielles pour comprendre la genèse du phénomène pluvieux et prévoir l'évolution de l'atmosphère environnante.

2.2.3. La prévision

Il y a toujours dans le terme de « prévision » une ambiguïté sémantique. On parle souvent d'événement « prévisible » dans une catégorie de risques donnée, lorsque ce risque s'est manifesté dans le passé, avec une certaine récurrence. On suppose alors raisonnablement que l'événement se reproduira dans le futur ; mais à la vérité, on ne saurait rien induire sur l'intensité maximale du phénomène ainsi « prévisible », ni sur l'époque de sa survenance : la statistique n'a pas ce pouvoir, surtout si elle se réfère à un échantillonnage très réduit, comme c'est le cas pour le risque sismique (seulement quelques cas observés sur des périodes chiffrables en siècles).

La véritable acception du mot « prévision » implique du point de vue considéré ici, la mention précise de la localisation de l'horaire exact et de l'intensité attendue de la catastrophe. Ces données, *de facto*, ne peuvent être obtenues par la voie statistique (même si celle-ci constitue une aide appréciable), mais relèvent d'une formulation dynamique, dans laquelle les lois physiques interviennent pour guider la démarche de l'analyste prévisionniste.

Ce sera le cas pour les événements géotectoniques (séismes et volcans), qui ne disposent pas, dans « l'état de l'art », de la possibilité d'établir des modèles d'évolution en forme numérique, mais se prêtent à l'interprétation physique de « pré-curseurs ».

Pour sa part, la météorologie a, depuis le début du siècle, cherché à maîtriser par le calcul les lois des mouvements de l'atmosphère, en considérant celle-ci comme une strate unique – ou un empilement de strates – de l'air s'écoulant au-dessus d'une surface sphérique, en la circonstance : la Terre. Le comportement de ce milieu, de composition homogène, du moins en première approximation, relève de la mécanique des fluides, discipline scientifique bien maîtrisée. C'est ainsi que, connaissant (par l'observation et la mesure) l'état initial des milieux et ses antécédents, des modèles mathématiques peuvent être établis, qui simuleront l'évolution au fil du temps de cette masse atmosphérique, considérée dans ses quatre dimensions : trois dimensions d'espace et une dimension de temps. Les équations différentielles qui traduisent ces lois feront elles-mêmes l'objet d'un traitement numérique, pour obtenir en sortie du calculateur les données décrivant l'état final, c'est-à-dire le « temps sensible » auquel on a affaire dans le cas des risques naturels.

En pratique, on considère l'emboîtement de deux échelles, l'une dite « synoptique », où les mailles espace et temps s'expriment en centaine de kilomètres et douzaine d'heures ; l'autre dite « mésosynoptique », où la dimension typique des mêmes mailles, s'abaisse à la dizaine de kilomètres et à l'heure (le réseau d'observation, dit « sous-synoptique », opère toutes les trois heures).

L'échelle synoptique détermine une évolution par « types de temps », dont les séquences peuvent être régulières (c'est le cas aux latitudes tempérées, pour les trains de perturbations d'Ouest), avec des périodicités identifiables (typiquement, 12 ou 24 heures) ; ou en « poussées » (apparemment) irrégulières, comme c'est souvent le cas en Méditerranée, avec aggravations locales du phénomène générateur (« goutte froide »), lorsque celui-ci, pénétrant sur le Bassin, subit les contrastes thermiques qui le feront littéralement exploser (on se réfère ici encore à l'expression de « bombe météorologique » utilisée par les météorologues grecs).

Il y a donc, dans ce cas, un couplage évident entre échelles, et les modèles doivent atteindre le niveau de finesse convenable pour rendre compte de l'évolution à l'échelle inférieure, qui est celle des besoins rencontrés.

Il faut en tirer la conclusion que la qualité à attendre de la prévision météorologique aux très petites échéances et très petites échelles géographiques, est forcément très inégale en fonction des circonstances, et doit donc être considérée avec prudence.

Les considérations qui précèdent se rapportent essentiellement au cas le plus critique de la précipitation diluvienne, génératrice des crues torrentielles, assez

fréquente en Méditerranée. La relation pluie-débit est alors essentiellement fonction de la géomorphologie du petit bassin générateur et du ruissellement violent sur les versants. La complexité de ce dernier phénomène, fonction du couvert végétal, de la géologie superficielle etc., rend illusoire une modélisation de type numérique.

Il n'y a donc que la seule voie statistique pour déterminer la corrélation pluie – débit dans ce cas de figure. Cette corrélation ne vaut naturellement que pour le cours d'eau en cause pris individuellement, et sera elle-même assez suspecte, dans la mesure où l'échantillonnage en séries temporelles des données météorologiques et hydrologiques locales sera, en général, assez insuffisant.

2.3. *Les structures : l'exemple de la construction parasismique*

La résistance aux risques peut s'appuyer sur des structures défensives lourdes, où le béton joue le plus souvent un rôle majeur.

C'est le cas pour les risques d'eau, avec les techniques de barrages et d'endiguements, dont le dimensionnement peut être calculé sur la base de prévisions hydroclimatiques.

En ce qui concerne le risque sismique, faute de pouvoir disposer d'une information prévisionnelle fiable, on a cherché à en réduire les impacts là où la vulnérabilité humaine est la plus importante, c'est-à-dire les bâtiments et les ouvrages d'art.

Le génie parasismique, devenu un véritable corps de doctrine, vise ainsi particulièrement la protection des installations, qu'il s'agisse de l'habitat à usage individuel ou collectif, ou de certaines installations « critiques » (industries chimiques ; centrales nucléaires), et fait appel à un nombre important de codes et réglementations qui ont été établis par les Pouvoirs publics et les organisations techniques du secteur privé.

Il y a, en général, convergence des dispositions ainsi recommandées ; mais « l'état de l'art » ne permet pas toujours de fixer le meilleur choix entre certaines variantes. Un essai d'unification des codes est actuellement à l'étude dans la Communauté européenne sous le nom d'EUROCODE 8 ; l'aboutissement, après de longues discussions, est attendu en 1999.

L'approche générale du problème de la construction parasismique, couvre trois aspects.

- (i) l'architecture du bâtiment, en y incluant les formes ;
- (ii) les structures internes et les matériaux composants ;
- (iii) les dispositions constructives.

Sur le point (i), on retiendra deux règles générales :

- la forme rectangulaire la plus simple est aussi la plus souhaitable, à condition que la longueur ne dépasse pas trois fois la largeur ;
- la symétrie de forme, en plan et en élévation, présente un avantage certain sur l'asymétrie. Les redans sont un facteur de fragilité, voire d'instabilité.

L'utilité de ces règles a été bien confirmée à l'occasion de séismes récents.

On garde à l'esprit la morphologie du bâtiment très compact qui fut le seul à résister en centre ville, lors du séisme de Skopje, en 1963.

La **figure 8** montre à cet égard un ensemble de plans de constructions d'écoles indiquant les formes de bâtiments à éviter en zone sismique.

Il faut aussi considérer, en relation avec le bâtiment, les systèmes de ravitaillement en eau potable, dont les conduits et les joints doivent présenter une flexibilité suffisante pour résister aux séismes d'intensité modérée.

Du point de vue des infrastructures, les ponts constituent un élément de vulnérabilité important, parce qu'ils n'ont pas été construits pour résister à des efforts latéraux. Des concepts nouveaux doivent être étudiés dans ce domaine.

Sur le point (ii), le premier problème concerne les matériaux qui conditionnent la capacité du bâtiment à s'incliner, osciller et se déformer, assez notablement, sans s'effondrer : la brique et l'adobe répondent mal à cette condition.

La répartition et la qualité des chaînages sont le deuxième élément essentiel.

L'étude menée après le séisme de Metlaoui en Tunisie, le 7 novembre 1989, fournit d'utiles indications sur la vulnérabilité de l'existant qui peuvent s'appliquer dans beaucoup d'autres situations en Méditerranée (Ben Hamida et Najar).

Les enseignements du séisme de Metlaoui (Tunisie)

Le phénomène pouvait être qualifié de faible à modéré, avec une magnitude estimée 4,4 sur l'échelle de Richter, un hypocentre à 8 km et un épocentre voisin, à 10 km environ de la ville. En fait, la région de Metlaoui n'étant pas équipée d'accélérographe, on ne dispose pas de mesure directe de l'accélération maximale et de la période dominante du séisme. Une évaluation empirique conduit à estimer à 0,08 g cette accélération maximale, avec période prédominante de 0,15 s.

L'enquête a porté sur les dégâts dans l'immobilier. Le recensement montre que ces dégâts correspondent à l'échelle VII sur l'échelle modifiée de Mercalli. (Des trois secteurs de la ville, Metlaoui Centre, Metlaoui Gare, Mziraa, c'est ce dernier qui est le plus touché avec 62 % de logements endommagés, suivi du secteur central avec 40 %, enfin le secteur de la gare avec 30 %).

On pousse l'analyse en considérant quatre modes de construction :

- Mode A-1 structure à mur porteur en « fanker » (pierre de ramassage de 20 à 30 cm, tendre, tuffeuse, liée avec un mortier d'argile, non chaînée).
- Mode A-2 structure à mur porteur en pierre calcaire de carrière, semi-dure, hourdée avec un mortier bâtard (chaux + ciment), non chaînée.
- Mode B : structure à mur porteur en moellon lié à un mortier bâtard, chaînée.
- Mode C : ossature en béton armé avec murs de remplissage en agglomérée.

Il apparaît que :

- Le mode de construction fréquent est le mode A-2 (55 % de l'ensemble des constructions de la commune) ;
- la qualité du bâti est mauvaise dans Mziraa, moyenne dans le Centre, et relativement bonne dans la Gare. Cet état de fait explique pourquoi le secteur de la Gare a été le moins affecté, alors que celui de Mziraa a été le plus touché.

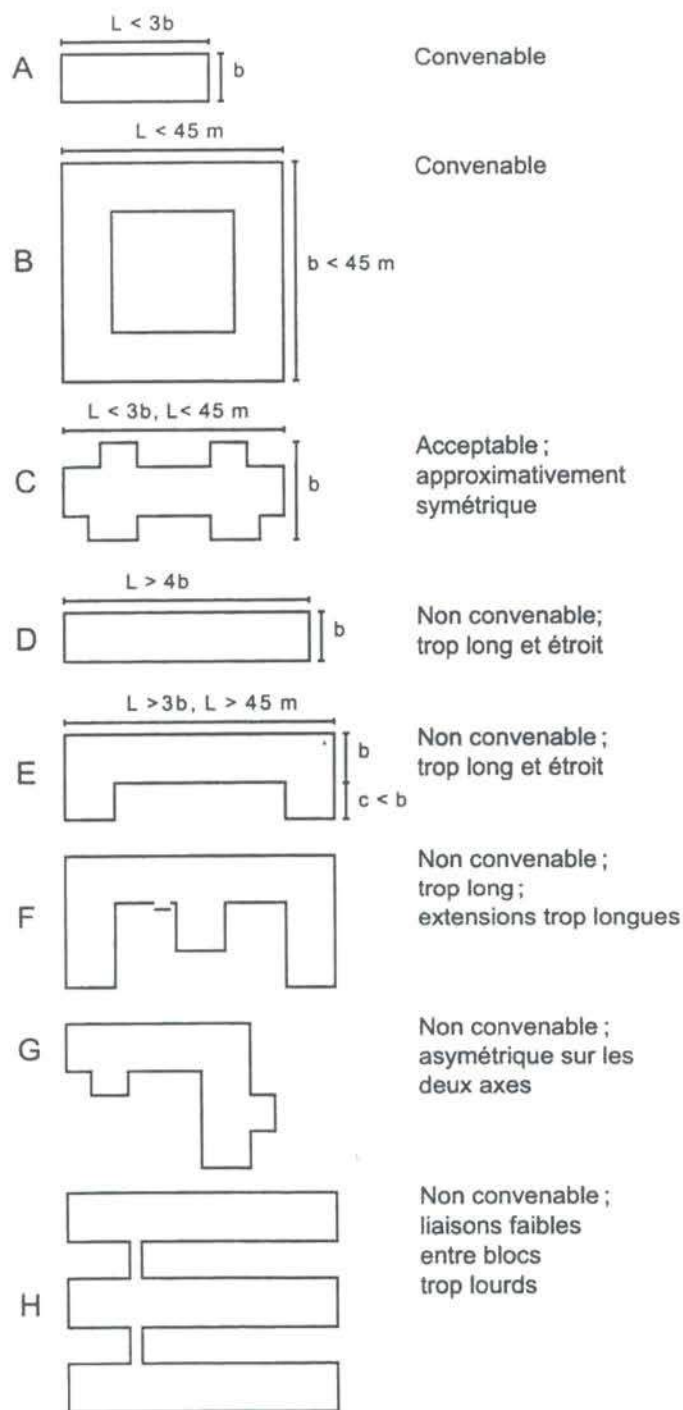
Dans ce même ordre d'idées, la répartition des logements endommagés par mode de construction permet de conclure que :

- Les logements conçus avec une ossature en béton armé se sont comportés convenablement ;
- la structure chaînée s'est correctement comportée en comparaison avec la structure non chaînée. Néanmoins, des cas de désordres graves ont été enregistrés ;
- les logements construits en « fanker » se sont très mal comportés.

Les constructions munies d'une ossature en béton armé n'ont subi que des désordres non-structuraux intéressant les murs de remplissage.

Les principaux désordres sont constatés dans les murs porteurs moellon ou en « fanker ».

Figure 8

Constructions-types d'écoles

Les causes principales des désordres sont liées aux facteurs suivants :

a) Phénomène de résonance

Il est amorcé lorsque la période prédominante du séisme (T_s) proche de la période p propre du bâtiment (T_b). Dans le cas traité, T_s est de l'ordre de 0,15 sec et T_b est entre 0,1-0,2 sec. Ceci expliquerait pourquoi des constructions en dur construites selon les règles de l'art ont subi des désordres graves malgré le caractère modéré de l'intensité du séisme. La polyclinique, moins élancée que l'hôpital régional, a subi quelques dégâts au niveau des murs de remplissage, alors que l'hôpital régional, distant à peine, d'une cinquantaine de mètres n'a pas été affecté.

b) Propriétés des matériaux de construction

La courbe contrainte déformation de la maçonnerie est caractérisée par un palier très court. Dans le cas où les sollicitations transmises par le séisme au-dessus de la limite élastique, une rupture fragile (brutale et sans préavis) peut avoir lieu, d'où la possibilité de pertes humaines et matérielles importantes.

La pierre de ramassage utilisée est un tuf tendre, de forme arrondie et de petit calibre, caractérisée par un taux élevé d'absorption. Elle constitue, donc, un mauvais matériau de construction même en l'absence de séisme.

Le mortier de joint constitue le facteur déterminant de résistance de la maçonnerie. Le mortier de chaux, souvent utilisé, possède de faibles caractéristiques mécaniques, en dépit de sa bonne ouvrabilité. Le mortier bâtard, par contre, concilie la bonne ouvrabilité de la chaux et la résistance élevée du ciment. Il est à noter, que la résistance au cisaillement de ce mortier augmente avec la teneur en ciment.

Les techniques de montage des murs sont parfois inadéquates (murs en moellon ; liaisonnement des murs pignons ; joints).

c) Le chaînage

L'absence de chaînage horizontal à hauteur du plancher, fait que :

- des fissures horizontales au niveau de l'appui de la dalle apparaissent. En effet, cette zone est critique puisqu'elle représente la liaison entre deux corps de comportement dynamique différent : le béton armé et la pierre ;
- des fissures verticales prennent naissance aux appuis des IPN ou des solives en bois. En effet, la répartition des charges n'étant pas uniforme, il se crée des zones de concentration de contraintes, sensibles à l'effet du séisme.

L'absence de chaînage vertical prive les murs porteurs d'un moyen efficace de contreventement latéral. Ce chaînage peut s'effectuer grâce à des poteaux en béton armé coulés après montage du mur, ou à des butoirs ou crans d'arrêt, constitués par des pierres posées à la verticale et dépassant d'une assise.

Le tremblement de terre de Metlaoui est considéré comme faible à modéré, et pourtant il a causé des dégâts importants au niveau du parc immobilier. Cet état de fait est dû, d'une part au phénomène de résonance et d'autre part à la mauvaise qualité du bâti.

Les dégâts graves ont surtout concerné des constructions « en dur », car : leur période propre est proche de la période prédominante du séisme ; la pierre est un matériau fragile qui offre peu de ductilité ; et le montage des murs selon les règles de l'art est difficile et requiert une main-d'œuvre hautement qualifiée.

En revanche, les constructions avec une ossature en béton armé se sont comportées convenablement lors du séisme.

Les recommandations du rapport pour les constructions futures sont ainsi formulées.

- Amélioration de la qualité du bâti existante en confortant les constructions à l'aide de poteaux encastrés dans les murs porteurs, et des poutres au niveau du plancher ;
- Adoption du mode de construction « ossature en béton armé » pour les constructions futures ;
- Formation et recyclage de maçons dans le domaine de la construction en dur.

3. Gestion de la crise

3.1. *Intervention et Réhabilitation*

3.1.1. *L'intervention*

Sur l'alerte donnée à partir de la première manifestation de la catastrophe survenant, l'Entité responsable engage son action en prenant dans l'urgence, une série de décisions.

Ces décisions concernent effectivement i) l'identification du site et des conditions de la catastrophe, ii) les secours d'urgence et le rétablissement de télécommunications, et iii) l'organisation des moyens d'assistance aux sinistrés.

Sur le premier point, on s'efforcera de confirmer les indications des témoins par des éléments « objectifs » obtenus de différentes sources ; dans le cas d'un tremblement de terre ou d'une inondation, la cartographie du site sinistré pourra être demandée à l'avion ou l'hélicoptère dépêché sur les lieux, dont les indications seront transmises directement en mode audio (par radio-téléphone) ; et, idéalement, par images télévisées sur une ligne d'émission-réception directe.

Sur le deuxième point, il s'agit d'envoyer les équipes de premier secours avec leurs équipements. Ceci concerne, notamment, l'assistance médicale et l'appui des sapeurs-pompiers dans leurs divers domaines de compétence ; en même temps, l'établissement ou le rétablissement de télécommunications pourra être assuré, au moins en partie, par des matériels de téléphonie mobile.

Sur le troisième point, il s'agira, en premier lieu, d'assurer une subsistance alimentaire et des moyens de logement, même précaire (toiles de tente) ; également, des moyens de chauffage (en hiver) et d'éclairage.

3.1.2. *La logistique*

Pour l'ensemble de ces missions, on devra disposer de matériels déjà préparés et stockés (c. centre de stockage de DAH/DHA en Italie) et les acheminer sur site dans les meilleures conditions de rapidité.

La logistique est ainsi au cœur du problème. Pour les matériels relativement légers de première assistance, l'avion, puis l'hélicoptère, sont évidemment désignés. L'hélicoptère souffre encore de certains handicaps, parce qu'il est assez sensible aux conditions météorologiques, l'empêchant éventuellement de voler. Mais, il a de grandes possibilités d'intervention rapprochée, par exemple pour l'hélicoptère des blessés et les évacuations d'urgence. L'avion a une capacité d'emport très supérieure. Il est capable de parachuter des conteneurs de survie mais il se heurte à la difficulté de trouver une piste d'accueil au voisinage du sinistre. On voit cependant réapparaître les avions à décollage court pouvant conserver les performances d'un avion de transport moyen.

Pour les matériels lourds, nécessaires à une reconstruction rapide, le navire s'imposera, du moins jusqu'à un port côtier convenablement situé. Des formules nouvelles de navires à forte puissance et grande vitesse (nouveaux profils aéro/hydrodynamique) existent déjà pour le transport des passagers. Leur reconversion partielle en cas de catastrophe pourrait être envisagée ; une solution « d'hôpital flottant » d'aide d'urgence internationale mériterait également d'être étudiée.

3.1.3. *L'assistance médicale : le « triage »*

La médecine des catastrophes ne saurait être confondue avec la médecine d'urgence, qui correspond au traitement, en cas d'accident, d'un petit nombre de blessés, alors que la notion même de catastrophe implique le grand nombre. On parle ainsi, dans certains cours de médecine des catastrophes, d'un classement par nombre de victimes, catastrophe modérée pour des chiffres de 25 à 99 ; moyen, de 99 à 1 000 victimes (50 à 250 hospitalisés) ; majeure : plus de 1 000 victimes (plus de 250 hospitalisés).

Le facteur « grand nombre de victimes » intervenant dans des conditions d'environnement difficile, avec des moyens limités entre les mains des quelques praticiens disponibles sur place, va imposer des choix, en ce qui concerne l'évacuation des plus grands blessés : c'est la notion de « triage » (ce terme à connotation douloureuse est identique en français et en anglais).

Le triage prendra en compte à la fois le besoin de traitement immédiat, et le rythme possible d'évacuations d'urgence par voie aérienne, concernant en général, près de 20 % des blessés recensés.

Les moyens nécessaires à l'équipe médicale comprennent au minimum l'équipement de fourniture d'oxygène ; de matériels chirurgicaux d'urgence ; des réserves de sang ; et la pharmacopée générale, comprenant les médicaments analgésiques et anesthésiques.

Il va de soi que ces moyens feront partie de l'équipement « standard » de l'équipe de secours. Un laboratoire biochimique, même simplifié, représentera un appoint précieux.

Un progrès technologique singulier semble susceptible d'applications intéressantes en médecine des catastrophes. L'assistance médicale implique à ce jour la notion de proximité immédiate, parce que le médecin qui n'a pas toujours en cas de crise, les éléments de diagnostic chiffré que procurent les analyses biochimiques, peut y suppléer en partie par l'auscultation directe et, dans une bonne mesure, le dialogue avec le patient, qui lui permet un diagnostic « raisonné ». Mais on peut désormais faire appel à la « télé médecine », le terme désignant la consultation à distance par télécommunication entre praticiens. Cette consultation est encore assez difficilement imaginable dans la période critique correspondant au « triage » ; elle prendra toute son efficacité dans la phase ultérieure, surtout si la transmission audio se double d'une transmission vidéo en ce cas, on peut aller jusqu'à la téléchirurgie (guidage du chirurgien par son correspondant lointain).

En Méditerranée, la solution d'un relais par un satellite tel qu'INMARSAT est le plus facilement envisageable. Les constellations satellitaires IRIDIUM et GLOBALSTAR, plus tard SKYBRIDGE et TELEDESIC, permettront une large extension de cette méthode.

3.1.4. *Gérer l'après-catastrophe : le retour à la normale et la réhabilitation*

La fin de la crise brutalement survenue (séismes, crues, glissements de terrain) se traduit de façon constante, par la coexistence de deux sentiments :

- le choc socio-psychologique ressenti à la suite des pertes en vies humaines, et tout autant des atteintes à l'intégrité physique des personnes blessées. Une

bonne partie de la population est touchée dans ses relations affectives, et s'interroge sur le caractère en quelque sorte irrationnel et injuste de l'événement, perturbant la vie familiale et la conscience personnelle de beaucoup.

– l'accablement devant l'étendue des dommages, qui fait craindre que l'on ne puisse revenir à la situation normale, à raison des difficultés techniques (dégagement des débris, des décombres d'habitations, ruptures de canalisations enfouies sous les nappes de terre entraînée), mais aussi, bien entendu, de la perte de biens personnels, des sacrifices financiers à consentir pour une remise en ordre, et aussi la longueur de temps nécessaire pour cette reconversion, ou « réhabilitation » si on prend le terme dans son sens de « retour à la normale ».

Pour corriger ce double sentiment, qui, dans toutes les circonstances semblables, s'est révélé très fort, le premier soin devrait être l'utilisation des moyens de socio-psychologie de masse, désormais mis à disposition par le progrès des sciences humaines. Ceci signifie une action sur le terrain, avec des équipes de sociologues, convenablement « armés » pour combattre le désarroi, avec, notamment, les moyens audiovisuels adéquats. Ces moyens eux-mêmes auront pu être préparés convenablement à l'avance, avec le concours des autorités religieuses. Le fait religieux est alors, en effet, de très grande importance. Une certaine dialectique peut s'y inscrire entre, d'une part, les arguments pour un soutien d'ordre moral, indispensable à court terme ; et la présentation de perspectives matérielles plus favorables à moyen terme : l'espoir, en toutes circonstances, reste le maître mot.

3.1.5. *La compensation des dommages subis*

Il va de soi que ces actions de réconfort moral doivent s'accompagner d'actions effectives, visant d'abord au relogement provisoire et aux moyens d'appui immédiat pour la vie quotidienne (ravitaillement, notamment en eau potable, si celle-ci vient à manquer, hygiène, déplacements et télécommunications).

De telles actions sur le terrain sont, naturellement, coûteuses. Il faut envisager des modes de compensation financière qui feront appel, en premier lieu, à la solidarité nationale, par l'intermédiaire du gouvernement, dans la gestion des fonds publics.

Les organisations humanitaires jouent naturellement un rôle important dans le cas de grandes catastrophes largement médiatisées, et des pays étrangers peuvent souhaiter apporter leur aide. La coordination des secours extérieurs doit, dans ce cas, être soigneusement assurée par les autorités nationales et locales.

3.1.6. *L'assurance*

Il existe une autre possibilité de compensation, liée à la notion d'assurance. On peut avoir *a priori* un doute sur l'assurabilité des risques naturels, dont la manifestation souvent la plus brutale – le séisme – peut représenter une contre-valeur financière des dommages subis, souvent chiffrable en millions, voire de milliards de dollars, pour un événement d'apparition rare ou très rare. L'évaluation du séisme de Kobé au Japon (1995) se monterait à plus de 100 milliards de dollars US ; le potentiel de destruction d'une grande cité méditerranéenne est cer-

tainement inférieur de plusieurs ordres de grandeur, mais peut constituer, cependant, compte tenu du facteur d'échelle, un poids éventuellement comparable pour l'économie du pays en cause.

Dans ces conditions, parler, en terme d'assureur, de la « couverture des événements naturels », n'est-ce pas parler de l'assurance de « l'inassurable » ? (Tribouillois, 1990). On doit donc raisonner sur le problème ainsi posé : le coût actuariel du risque est-il acceptable ?

Tableau 3

Barème d'assurance selon l'intensité attendue du risque sismique

Catégorie de risques	Intensité (échelle Mercalli modifiée [MM])				
	VI	VII	VII	IX	X
Immeubles d'habitation					
Bâtiments	0,4 %	1,7 %	6 %	17 %	42 %
Contenu	0,05 %	0,3 %	2 %	10 %	35 %
Risques commerciaux					
Bâtiments	0,8 %	3,5 %	11 %	27 %	60 %
Contenu	0,4 %	2,0 %	7 %	23 %	60 %
Risques industriels					
Bâtiments	0,1 %	0,7 %	3 %	11 %	30 %
Contenu	0,1 %	0,7 %	3 %	11 %	30 %
Pertes d'exploitation	0,5 %	2,5 %	20 %	50 %	80 %

Source : Suisse de Réassurance.

En France, où la solvabilité globale du marché des assurances dépasse de peu les 10 milliards de francs (évaluation 1990), l'espérance mathématique annuelle du coût des inondations se situe aux environs de 1 milliard de francs ; sans aucun doute, ce coût annuel connaît des fluctuations autour de la moyenne, mais la fréquence des inondations et les paramètres climatologiques de la France font que la dispersion n'est pas extrêmement forte autour de cette moyenne.

On ne saurait donc affirmer que le risque d'inondations se révèle catastrophique en termes de capacité de remboursement. Est-ce à dire que cet événement est assurable ? La réponse est non, et la situation en France l'a montré jusqu'à ces dernières années, car la concentration spatiale des inondations est trop forte. Celles-ci ne peuvent endommager des biens que dans un chenal très étroit, et donc une très faible partie seulement de la population en est la victime potentielle. Cela conduit à faire supporter le coût réel du risque à un tout petit nombre d'assurés, et donc à leur appliquer une prime très élevée, qui leur semblera subjectivement sans rapport avec le risque encouru. C'est ainsi que, pour des biens se trouvant dans des zones où la période de récurrence se situe entre 50 et 100 ans, la prime actuarielle se situe à peu près à 5 pour mille des capitaux assurés, soit deux fois la prime multirisque qu'ils acquittent d'ordinaire et qui les couvre contre des événements auxquels ils sont bien plus sensibilisés.

On peut reprendre le même exemple en ce qui concerne la concentration temporelle des séismes où, indépendamment de leur caractère catastrophique et de leur zonation spatiale – d'ailleurs moins marquée que celle des inondations –, la période de récurrence est, dans un pays comme la France, si longue que, même conscients du danger, les assurés accepteront difficilement de payer la prime correspondante.

Comme c'est le cas pour les séismes, le zonage temporel et le zonage spatial peuvent se combiner et revêtir, de surcroît, un caractère catastrophique : on est là vraiment dans le domaine de l'inassurable.

A l'inverse, les tempêtes, qui touchent potentiellement toute l'étendue d'un territoire national, et qui surviennent fréquemment sans causer de dommages d'un montant réellement catastrophique, n'ont jusqu'à une date récente, pas posé de problèmes insurmontables au regard des techniques classiques d'assurance. Le cas des sécheresses sera évoqué plus loin.

On peut, d'autre part, s'interroger sur la validité des statistiques sur lesquelles se fonde le calcul actuariel, s'agissant d'interpréter des données sur une très longue période, au regard du taux d'occurrence extrêmement variable – espace et temps – de l'événement sismique, et/ou de l'évolution du risque au fil du temps, dans un contexte géographique favorisant, détournant ou inhibant le développement des phénomènes en cause (inondations, glissements de terrain, avalanches).

3.1.7. Les solutions euro-méditerranéennes

Dans l'optique d'une coopération euro-méditerranéenne plus développée, il est intéressant d'analyser les différents types de solutions adoptées à l'heure actuelle dans un certain nombre de pays européens, riverains ou non de la Méditerranée.

D'une manière ou d'une autre, on y essaye de limiter l'effet du zonage spatial et temporel en créant une mutualité, soit spontanément, soit sous l'égide de l'État, mêlant des assurés fortement exposés et des assurés peu ou pas du tout exposés ; de plus, en regroupant le plus grand nombre d'événements, on va limiter ces mêmes effets.

On résoudra enfin le problème du caractère catastrophique, soit en limitant le montant total des indemnités, soit en faisant intervenir l'État. L'intervention étatique peut revêtir de multiples aspects : autorisation de provisionner en franchise d'impôt, obligation d'assurance, fixation des conditions d'assurance, subvention des primes, réassurance, cartographie des risques, prévention, etc.

Deux types de solutions apparaissent ainsi. La première consiste à faire appel à la *solidarité nationale* au niveau de tous les assurés. La seconde consiste pour les assureurs, aidés plus ou moins en cela par l'État, à créer une *mutualité* d'assurés très diversement exposés.

On en donnera ci-après deux exemples :

- La France connaît, depuis 1982, un régime légal de garantie aux termes duquel toute police d'assurance de dommages aux biens ouvre droit à la garantie des catastrophes naturelles, moyennant une surprime fixée par la voie réglementaire. L'état des catastrophes naturelles est constaté au cas par cas par un arrêté interministériel. Un établissement public, la Caisse Centrale de Réassurance, offre aux assureurs du marché la réassurance des opérations entrant dans le cadre de la

loi : il bénéficie d'une garantie illimitée de l'État. En pratique, ce sont surtout les inondations qui ont donné lieu à indemnisation, beaucoup plus rarement les mouvements du sol. La tempête est considérée implicitement comme ne ressortissant pas au régime et depuis une loi de 1990, sa garantie est réputée acquise à tous les porteurs d'un contrat incendie.

- En Espagne, l'indemnisation des tempêtes et des événements naturels peut être effectuée soit par les sociétés d'assurances, soit par le « Consorcio de Compensacion de Seguros ». Celui-ci, organisme officiel, est alimenté par les sociétés d'assurances dont le rôle se limite à une simple collecte des primes. Plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

- dommages produits par des phénomènes naturels qualifiés par le Gouvernement de « catastrophe ou calamité nationale » : les dommages sont fixés par la loi et indemnisés par le Consorcio ;

- dommages de « nature extraordinaire » par leur ampleur et leur intensité déclarés « catastrophiques » par arrêté : les dommages sont expertisés et indemnisés par le Consorcio ;

- dommages de « nature extraordinaire » non déclarés comme catastrophiques par l'autorité compétente : les dommages sont indemnisés par les sociétés d'assurance en fonction de leur politique propre.

Parmi les événements couverts par les sociétés, on mentionnera : vent, grêle, neige et parfois pluie, inondations. Pour le Consorcio : inondations, tremblements de terre, éruptions volcaniques, cyclones atypiques.

Le gros inconvénient de ces solutions (solidarité ou mutualisation) réside évidemment dans la déresponsabilisation des investisseurs qu'elle entraîne. C'est pourquoi il est indispensable que les Pouvoirs publics interviennent à l'autre bout de la chaîne – pour réglementer très sérieusement dans les zones dangereuses.

C'est le cas de la France où la loi de 1982 qui a prévu la couverture des événements naturels, a simultanément instauré l'élaboration de « plans d'exposition aux risques » (PER, désormais remplacés par les « Plans de Prévention des Risques » PPR), destinés à interdire la construction dans certaines zones très dangereuses, et à l'autoriser moyennant des mesures de prévention et de protection dans certaines zones réputées moyennement dangereuses.

Les analogies entre les systèmes en vigueur en Europe sont importantes, mais on voit aussi apparaître des divergences dans les capacités d'indemnisation, tantôt illimitées, tantôt limitées, dans l'absence ou la présence d'intervention de l'État, etc.

A noter que certaines législations nationales prévoient la constitution par les sociétés d'assurances, de provisions d'égalisation en franchise d'impôt, permettant d'étaler les fluctuations temporelles de la sinistralité.

Dans la plupart des autres pays, aucun régime spécifique de couverture n'est prévu, et c'est donc au gré des négociations contractuelles que s'établissent cependant une couverture des événements naturels.

3.1.8. *Le cas particulier de l'agriculture*

Dans la plupart des pays européens, l'assurance des récoltes est traitée de manière spécifique, et jamais dans le cadre des contrats classiques de dommages aux biens.

La grande vulnérabilité des récoltes, leur sensibilité à bien d'autres événements dommageables que les événements naturels, rendent encore plus complexes et plus diversifiés les mécanismes de leur couverture. Celle-ci revêt d'ailleurs bien souvent le caractère d'une garantie de revenu minimum ; elle obéit alors à des mobiles plus sociaux qu'économiques, en raison de la très profonde mutation que connaît en ce moment l'agriculture européenne. Elle s'intègre enfin dans un mécanisme beaucoup plus vaste d'organisation de la production et de fixation des prix.

Très brièvement, on peut dire qu'en Europe, on trouve assez rarement l'assurance de rendement, où l'assuré est indemnisé quel que soit l'événement dommageable, en fonction d'un rendement type évalué plus ou moins forfaitairement, et beaucoup plus souvent l'assurance d'événements déterminés, qui ressortit à une conception plus classique.

L'Espagne et le Portugal connaissent depuis le début des années 1980, un système assez voisin où l'État et les assureurs privés collaborent aux mécanismes de garantie, l'État subventionnant d'ailleurs une partie des primes. Les deux systèmes prévoient le recours à un fonds spécial pour les sinistres catastrophiques.

En Italie et en Suisse, on trouve des systèmes d'assurance pour des périls déterminés, dans lesquels l'État participe au paiement des primes et/ou gère un fonds de garantie pour les risques inassurables.

En France, coexistent des systèmes d'assurances classiques pour la grêle, les tempêtes (sur certaines cultures seulement), dans certains cas le gel, et un fonds de garantie des calamités agricoles pour les événements de caractère exceptionnel réputés inassurables.

Notons que la grêle est couverte dans tous les pays, mais que le gel, la sécheresse, l'excès d'humidité, les inondations, les chutes de neiges et l'action de parasites le sont pratiquement toujours grâce à des mécanismes qui peuvent faire appel à la technique de l'assurance, mais qui bénéficient d'une aide de l'État.

Il va de soi que les exemples précédents ne sont pas transposables au cas général de l'ensemble des pays méditerranéens, à raison de la diversité des contextes géopolitiques. Cependant, on peut y trouver des « pistes » pour des arrangements entre l'État et certains organismes de « mutualité ». Le cas de la sécheresse, risque littéralement géant, pourrait, à échéance, agir fortement en ce sens.

3.1.9. *Gérer l'après-catastrophe : la reconstruction de la cité*

Au cœur de la vie sociale, la cité est à la fois le nœud essentiel des activités humaines et le symbole d'une cohésion des groupes humains, véritable homologue de l'idée de nation, dans l'esprit de la confraternité.

C'est dire l'importance que prendra, après une grave catastrophe naturelle (séismes ou inondation), la reconstruction d'une ville, respectant un certain nombre de traditions architecturales – style ou « touche » authentiquement populaires –, mais conçue suivant une nouvelle logique, qui privilégie la défense contre les risques, en organisant dans cet esprit les fonctions vitales dans cette défense.

Le cas s'est présenté pour la reconstruction de El Asnam en Algérie, après les deux catastrophes sismiques successives de 1954 et 1980. Un plan de construc-

tion a été étudié (Souhlal, 1990). On y trouve des notions « intégrales » pour la prise en compte du risque en site urbain, dans une vision nouvelle que l'auteur baptise « urbanisation des catastrophes ».

L'amélioration du niveau des performances défensives de la ville contre les risques, dépend étroitement des combinaisons entre quatre catégories de paramètres qui interviennent dans la composition urbaine.

- (i) la classification des sols en fonction de l'aléa sismique ;
- (ii) les réseaux, où les meilleurs tracés sont déterminés en fonction des terrains à traverser ;
- (iii) l'organisation et la morphologie des ensembles urbains, où l'agencement rationnel des espaces « ouverts » et « fermés » contribue à minimiser les dommages futurs ;
- (iv) les localisations préférentielles des équipements et des espaces à fonction double, (fonction d'activité ordinaire, hors catastrophe ; fonction de protection de personnes et biens, en cas de catastrophe) reliés par les réseaux vitaux.

Le degré de vulnérabilité de la ville se mesure à partir de toutes les combinaisons entre les classes précédentes. On peut se proposer de sélectionner la combinaison optimale, celle qui offre la plus grande sécurité.

Si pour les deux premiers niveaux, il s'agit prioritairement de données fournies par les cartes de micro-zonage sur lesquelles s'appuient les alternatives d'aménagement, il en est tout autrement pour les niveaux trois et quatre.

En effet, il peut y avoir une aggravation sensible des dommages, par la simple méconnaissance des règles de composition urbaine en zone sismique : c'est une évidence dans le cas des équipements vitaux à fonction double (utilisation en période « normale » et en période de crise).

Les quatre niveaux précédemment définis permettent de localiser les équipements vitaux et d'obtenir le maximum de sécurité quant à leur comportement, lors d'un séisme. Cependant, il paraît insuffisant de construire des édifices sûrs, s'il est impossible de les atteindre ou de leur fournir les énergies et les informations dont ils ont besoin.

L'idée du « chemin critique de sécurité » à inclure dans la conception de la structure urbaine vise à remédier à cette situation.

Les caractéristiques de sols et des réseaux deviennent les éléments de référence où les notions de flux, de débit, et de puissance ont un impact sur les tracés de ces couloirs vitaux dont certains possèdent la fonction double. Ils doivent se comporter en cas de séisme, de la même manière que les équipements stratégiques, et rester en état après le choc tellurique.

Les critères d'implantation des espaces vitaux ouverts et fermés correspondent aux nœuds névralgiques du système. Ils sont en liaison permanente au moyen de plusieurs chemins critiques de sécurité, capables, quelque soit l'intensité du séisme, de les maintenir en fonctionnement.

En considérant l'ensemble des indicateurs majeurs, un tel schéma de structure urbaine comporte des systèmes de défense interne et externe. Les espaces « extérieurs » contribuent à favoriser ces relations en créant des accès spontanés en cas de catastrophe, mais également des zones-tampons de protection et de regroupement. Les espaces verts, tels que jardins publics, parcs urbains ou forêts régio-

nales, sont d'excellents lieux de transition. Ils réduisent les risques de paralysie, grâce à une meilleure accessibilité aux équipements vitaux, s'ils sont bien localisés. Ils tempèrent l'imperméabilisation des espaces non bâtis, facteur d'accélération des crues torrentielles. Ils se transforment aisément en camps de toile immédiatement disponibles, s'ils possèdent un réseau sanitaire et d'alimentation en eau, programmé dès l'esquisse du plan.

Les rues piétonnes, aménagées de coulées vertes et de bâtiments coupe-feu, se convertissent facilement en parcours d'évacuation. La place devient, en plus de son rôle de repère urbain, un espace de regroupement d'autant plus efficace que des réserves d'eau y sont prévues (château d'eau enterré sous une fontaine publique par exemple).

La régulation des flux, l'absorption des déséquilibres inhérents à la rupture des circuits économiques et à la destruction des édifices, seront maîtrisables, par la création d'espaces à fonction double servant d'absorbeurs.

Les supports cartographiques conventionnels, base de tout schéma de défense, sont à compléter par l'exploitation des cartes de micro-zonage sismique, mais aussi par l'élaboration de cartes de risques naturels et technologiques propres à chaque agglomération. A partir de ces nouveaux instruments, il est possible de réaliser la structure de défense groupée ou séparée de la structure urbaine initiale. Le plan d'urbanisme résultant comprendra tous les refuges (équipements et espaces ouverts à fonction double) ainsi que la trame urbaine résistante (chemins critiques de sécurité).

3.2. *Le cas du risque sécheresse*

En contraste avec les risques à survenance brutale (dans lesquels on peut d'ailleurs ranger les feux de forêt), le risque de sécheresse saisonnière représente un cas singulier, et grave, pour trois raisons principales :

- L'extension géographique beaucoup plus large, concernant la plupart des pays péri-méditerranéens, au Sud (Maghreb et Machrek), à l'Est (Proche Orient) et dans une moindre mesure au Nord et à l'Ouest (Espagne, Îles espagnoles, italiennes et grecques).

- Le caractère inexorable de la montée du risque au fil du temps, par le double effet de la tendance naturelle, héritée – si l'on peut dire – des siècles et millénaires passés, et de la charge additionnelle de la pollution anthropique (l'effet de serre).

- Le poids extrêmement lourd, en termes socio-économiques (réduction du produit national brut), de ses conséquences à moyenne et longue échéance.

Pour parer à ce risque, la stratégie adéquate ne peut que se développer en continuité dans la durée, en mettant en jeu un arsenal de voies et moyens adaptés à l'ampleur des problèmes posés, que l'on regroupera dans les rubriques suivantes « innovation » et « coopération ».

3.2.1. *Les voies d'innovation*

On se réfère ici au « parades techniques » présentées dans le chapitre correspondant à la partie II.

Il s'agit d'abord d'améliorer « l'existant », par la mise au point de façons culturales plus économes du produit « eau » (irrigation par arrosage), en réduisant d'autre part, la demande en eau de la plante, par la création éventuellement « mutante » de nouvelles variétés. Le même souci d'autonomie conduira à améliorer l'hydraulique urbaine, facteur de gaspillages souvent involontaires. En facteur commun, on cherchera à réduire les pertes par évaporation sur les points de stockage (barrage). Le traitement qualitatif de l'eau, par épuration et tous procédés de recyclage, constituera un autre thème de progrès. Parmi toutes les solutions pour améliorer la quantité et la qualité d'eau disponible, l'économie et la réduction des gaspillages par une bonne gestion de la demande constituent la voie la moins coûteuse.

L'innovation trouvera cependant un autre domaine d'élection dans l'augmentation de la ressource, par la détection d'aquifères profonds ou par le recyclage par exemple, voire par les techniques de dessalement à rendement amélioré (osmose inverse). Le transfert d'eau d'une région à une autre, moins favorisée, pourrait justifier de nouveaux concepts de transport par pipe-line ou convoi marin de citernes immergées.

Enfin, on doit se placer aussi dans la sphère de la recherche proprement dite, abordée sous deux angles très différents, concernant la prévision de la sécheresse, par zones et degrés d'intensité, grâce à des nouveaux modèles météorologiques performants ; et la possibilité éventuelle de provoquer la pluie par « ensemencement » des nuages.

3.2.2. *Les moyens de la coopération*

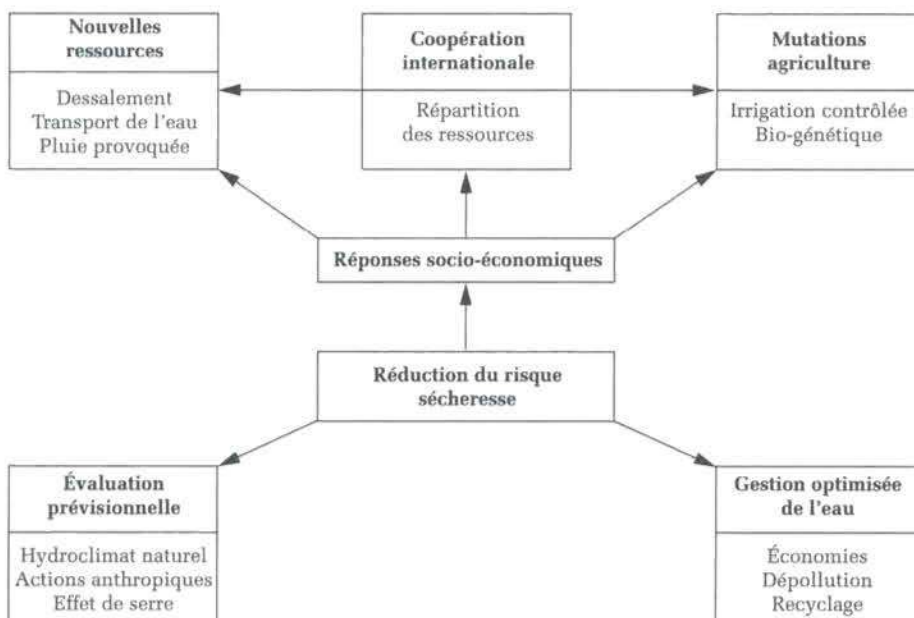
On partira de l'idée générale qui fait de l'eau un bien commun de l'humanité, dont la distribution doit respecter le plus possible, un principe d'équité.

Cette distribution concerne à la fois la quantité et la qualité du produit livré – et ce deuxième aspect conduit à raisonner, en même temps, sur certains aspects de la pollution. Le traitement du problème « à la source » implique nécessairement pour une même région, la coopération des États « fournisseurs » et des États utilisateurs. Au-delà de considérations purement géopolitiques, bien connues en Méditerranée, on conviendra d'une triple justification pour la mise en commun des moyens :

- La gestion de la crise repose, d'abord, sur des évaluations prévisionnelles, dans l'ordre physique et dans l'ordre économique. Ces évaluations font elles-mêmes appel à des moyens d'observation sur le terrain (collecte de données) et de traitement sur modèles de ces données, qui représentent une charge lourde pour des pays pris individuellement. Les dépenses correspondantes pourraient, largement, faire l'objet d'une mise de fonds en commun.

- La gestion de la crise conduit, à échéance, à prendre des dispositions nouvelles et rationnelles dans l'ordre de l'atténuation des conséquences de la pénurie. Celles-ci peuvent faire l'objet d'accords de compensation, sur la base des évaluations précédentes, et sans doute dans le cadre d'une organisation mondiale du commerce, attachée à une régulation optimisée des prix.

- Enfin, on reconnaîtra l'importance de l'innovation, basée elle-même sur la recherche, qui mènera plus loin – et on l'espère, beaucoup plus loin – dans la

Diagramme 6*Gestion du risque sécheresse*

capacité humaine à corriger la menace naturelle. Les actions de recherche que l'on peut, d'ores et déjà, dessiner, doivent rassembler les meilleures compétences à l'échelle multi-nationale ; mais elles sont, à tous égards, très coûteuses, inaccessibles à un pays isolé.

Il y a donc nécessité de concevoir une stratégie commune sur le risque de pénurie de la ressource-eau en visant à la fois :

- l'exploitation concertée de la ressource,
- la réduction des effets socio-économiques prévisibles

Ce double objectif peut être atteint à partir des réalisations actuelles, en développant notamment le concept de « réseau », réseaux de caractère organisationnel dans les différents domaines pertinents, à l'échelle internationale et à l'échelle plus spécifiquement méditerranéenne.

Clés pour le futur en Méditerranée

L'analyse des tendanciels des risques futurs, esquissée au chapitre I, fait apparaître, pour le plus grave d'entre eux, le risque climatique de sécheresse aggravée, un large éventail de lendemains possibles, avec des variantes, dont la plus extrême correspond, au-delà de l'an 2025, au dépassement du stress hydrique admissible dans certains pays de la région. La société moderne ne peut vivre sous une telle menace ; elle demande, pour son développement durable, la définition d'une approche systémique tenant compte de l'aléa naturel.

Cette approche sera basée sur l'anticipation, en termes techniques et socio-économiques : elle s'aidera de la recherche, qui doit apporter des solutions innovantes : elle fera fond, finalement, sur la coopération intra-méditerranéenne, qui permettra de rassembler les moyens indispensables pour faire face au danger commun.

Cependant, si la sécurité alimentaire de la société méditerranéenne est en grande partie fondée sur sa capacité à assurer un quota d'eau suffisant pour l'agriculture irriguée dans un contexte de conflits d'usages de l'eau, la sécurité des biens et des personnes face aux autres aléas naturels y est fonction de l'accroissement de la vulnérabilité de populations plus nombreuses et de plus en plus concentrées sur le littoral. En d'autres termes, le phénomène de « littoralisation », considéré comme inéluctable dans tous les scénarios du Plan Bleu, génère une exposition croissante aux risques des habitants des villes méditerranéennes, notamment aux tremblements de terre et aux inondations.

1. Anticipations : menaces probables et parades possibles

1.1. La double menace

En Méditerranée comme ailleurs, les risques naturels existent de toute éternité et il n'y a pas de raison de douter, qu'ils ne perdurent au siècle prochain ; mais intervient dorénavant, de façon de plus en plus accentuée, le fait humain, qui se manifeste doublement dans ce domaine, par une augmentation de la vulnérabilité du corps social, en milieu urbain notamment ; et par des actions de négligence récurrente dérégulant les équilibres fondamentaux de l'environnement, avec les conséquences pratiques qui en découlent pour les milieux vitaux – l'air et l'eau.

Le premier terme de ce diptyque est étroitement associé à l'accroissement démographique. Selon les travaux du Plan Bleu, l'ensemble des pays riverains du Bassin méditerranéen, où vivaient en 1985 environ 360 millions d'habitants, atteindraient entre 530 et 580 millions d'habitants en 2025. La population des seules régions littorales passerait dans le même temps de 135 millions à un total de 195 à 220 millions selon les scénarios extrêmes.

Il faut naturellement tenir compte, en plus de la population de résidents, de la population « flottante », qui concerne plus particulièrement les flux, désormais transcontinentaux, induits par le tourisme, en notant à cet égard que la population des touristes est éventuellement plus vulnérable, à raison de sa méconnaissance du terrain, de la langue, des habitudes locales, etc. Au niveau des pays, ce « surplus » épisodique de touristes internationaux passerait de 149 millions en 1990 à un chiffre situé entre 230 et 420 millions en 2025, selon les scénarios. Pour les seules régions littorales, il passerait de 72 millions à un chiffre situé entre 140 et 220 millions.

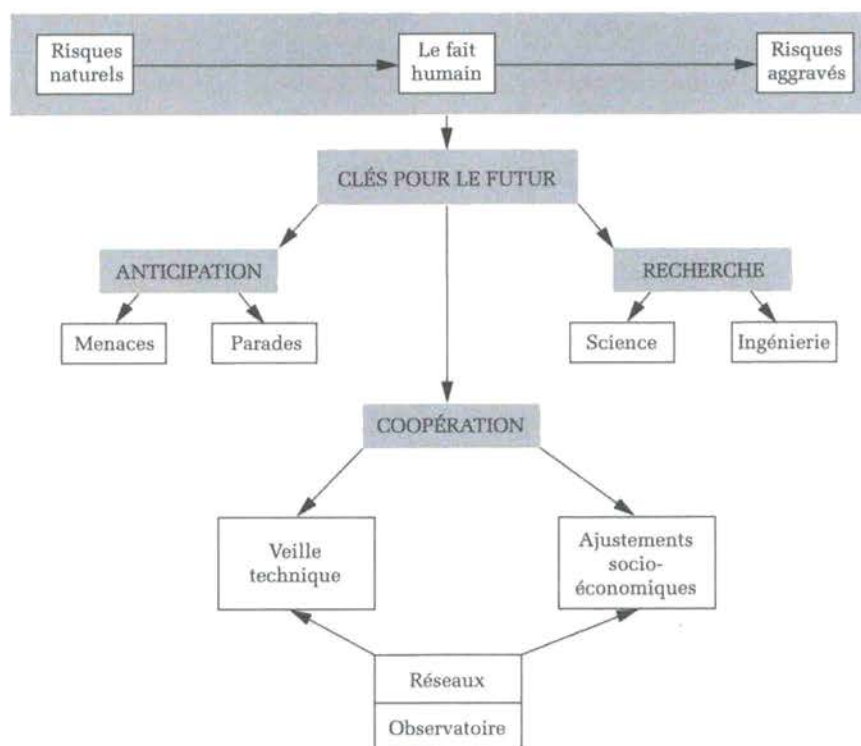
En fait, la densification à l'unité de surface pour les pays concernés – essentiellement au Sud et à l'Est du Bassin – se manifestera de façon inégale dans les zones désertiques, dans les zones rurales, et dans les zones urbaines qui de façon inéluctable, prendront le pas en matière de progression démographique.

Les tableaux établis par le Plan Bleu confirment l'importance du phénomène pour les villes méditerranéennes, là où se situera, par conséquent, la vulnérabilité la plus évidente du corps social. Cette vulnérabilité joue d'abord pour les risques de type brutal, inondations et surtout séismes, parce que la densité élevée des populations des villes – et l'extension géographique de celles-ci – aura pour corollaire des impacts d'autant plus concentrés et forts, en termes de vies humaines ou d'intégrité physique des habitants, mais aussi en termes d'atteinte à la propriété individuelle et à l'activité professionnelle.

Cependant, il s'agit là de menaces épisodiques et locales tandis que le risque climatique se traduira par une pénurie, c'est-à-dire un déséquilibre semi-permanent entre les besoins en eau des villes comme des campagnes, et la ressource effectivement disponible à partir de l'eau précipitée. Ce déséquilibre structurel, temporairement aggravé par les sécheresses, constitue une première menace pour la région méditerranéenne car il appelle des compensations techniques, et leur traduction financière, extrêmement coûteuse.

Une deuxième menace, cette fois à caractère global, procède des atteintes humaines à l'environnement planétaire. Celles-ci concernent au premier chef le climat, au sens météorologique du terme, c'est-à-dire le transport des masses d'air,

Diagramme 8



et, en particulier, de leur capacité thermique et de l'eau qu'elles contiennent, eau-vapeur et eau liquide dans les nuages. Sur ce climat naturel, la perturbation humaine vient d'abord de l'accroissement de l'évaporation, qui joue avec l'urbanisation (« îlot de chaleur » des villes) et la transformation du couvert végétal, y compris la déforestation. L'évaporation, et sa composante terrienne, l'évapo-transpiration, cumulant l'émission du sol aqueux et le rejet d'eau dans la respiration dans plantes, constitue effectivement l'un des termes principaux et modifiables du bilan d'échange Terre-Atmosphère.

D'autre part et surtout, l'activité humaine met en jeu des énergies qui croissent à la fois avec l'expansion démographique, la dynamique acquise des pays les plus industrialisés, et la montée en puissance des pays en développement. La production de ces énergies demande, prioritairement à ce jour, la consommation de combustibles fossiles (charbon, pétrole), qui aboutit à l'injection continue de gaz carbonique dans l'atmosphère. Parallèlement, certaines émissions de l'industrie chimique, tels les chlorofluorométhanés (CFCs) ainsi que des composés azotés et le méthane produit par les activités agricoles et pastorales, viennent s'ajouter au CO_2 pour perturber les échanges radiatifs au sein des masses d'air, avec répercussion sur la répartition générale de leurs effets climatiques. C'est « l'effet de serre » déjà évoqué, qui doit se traduire par une élévation de température, plus forte aux latitudes moyennes et hautes, et par des variations pluviométriques avec déficit accentué sur les zones déjà affectées par l'aridité.

Pour évaluer ces effets, il faut raisonner en termes d'évolution probable liant de façon serrée les causes et les impacts. Au niveau des causes, en se limitant à la contribution essentielle du CO_2 , les extrapolations actuelles peuvent se baser valablement sur une progression sensiblement linéaire, effectivement mesurée, de la concentration atmosphérique de ce gaz, qui est également réparti à la surface du globe. La mise en œuvre, très lente jusqu'ici, de la Convention sur le changement climatique ne semble pas devoir freiner très rapidement cette progression.

L'analyse comparée des « sources » et des « puits » du CO_2 vient en fait conforter l'idée que cette progression est destinée à se poursuivre. Le « retard » que l'on croit noter actuellement sur l'avancée de l'effet de serre, en termes de température d'ambiance (avec la difficulté de chiffrer les incréments de température, en surface océanique notamment, et, symétriquement, les variations de température stratosphérique qui seraient significatives à l'échelle des dernières décennies), peut s'interpréter comme résultant d'une évaluation insuffisante du rôle du « puits » océanique. Ainsi, la référence du « CO_2 double » qui apparaît dans les modèles pourrait, selon le cas, conduire à plusieurs scénarios d'aboutissement, mais pas avant la deuxième moitié, voire la fin du siècle prochain.

Les impacts s'accorderont avec ces différents calendriers. La montée en température, décrite dès l'apparition des modèles physiques les plus simples (uni- et bi-dimensionnels), est certainement inéluctable et concerne toutes les régions du globe, à latitude donnée. La nouvelle répartition de l'humidité et des pluies fera davantage sa place à la régionalisation, où les effets de contraste thermique océans-continents pourront avoir pour conséquence la formation de perturbations, au moins locales (côtières), à caractère pluviogène accentué.

Cette machinerie est particulièrement en évidence en Méditerranée lorsque, par effet local ou sub-régional, les nuages d'une perturbation dépressionnaire sont activés sur la mer (par pompage convectif) et drossés sur un relief continental proche, où ils sont forcés de se « vider » de leur eau (convergence et confinement). Tel est bien effectivement le régime responsable de la plupart des catastrophes de crues torrentielles, que l'on observe avec leurs conséquences en matière de glissements de terrain.

Mais ces phénomènes, d'échelle petite ou plus rarement d'échelle moyenne, ne reflètent pas la réalité climatique méditerranéenne dans son ensemble. Celle-ci résulte, fondamentalement, de l'interaction des grandes masses d'air continentales d'Afrique, d'Europe et d'Asie, où la dominante d'air sec, au Sud et à l'Est, s'oppose à la pénétration de l'air humide d'origine atlantique par l'Ouest. La variabilité naturelle résultant de ces interactions, faibles ou fortes selon le cas, s'inscrit dans le paysage méditerranéen, par les couleurs brune et verte des sols, tels que les aperçoivent les satellites. Cette surveillance satellitaire fait apparaître la progression des surfaces arides par le Sud, – progression déjà installée sur le Machrek – Égypte et Libye – ; progression lente en cours sur le Maghreb – Tunisie, Algérie, Maroc.

Ainsi, les projections des modèles du type GCM qui ne permettent guère d'aller au-delà de l'estimation de variations faibles de la pluviométrie au Nord et au Sud du Bassin, avec une sorte de symétrie (légèrement excédentaire au Nord, légèrement déficitaire au Sud), semblent devoir s'accorder avec cette évaluation « naturaliste ».

Les impacts sur la production agricole seraient alors plus particulièrement dommageables au Sud et à l'Est où l'aridification devrait maintenir son taux de progression, au moins dans le premier tiers du XXI^e siècle, avec accentuation sensiblement plus marquée, du fait de l'augmentation des températures et de l'évaporation, dans les deux derniers tiers. Telle est donc la deuxième menace résultant du risque climatique.

On posera alors la question « quel est le degré de prévisibilité de ce risque climatique ? » qui peut se traduire par « quel est le degré de fiabilité des modèles disponibles pour représenter le climat ? ».

A ce jour, la réponse – très essentielle – ne peut qu'être incomplète, et parfois sujet de controverse. Il y a en fait, deux approches possibles dans l'évaluation du climat futur. La variabilité du climat naturel se constate, année sur année, sans toujours s'expliquer de façon convenable en terme de géophysique. On cite des « téléconnexions », relations d'ordre statistique entre anomalies (thermiques, pluviométriques) de diverses zones géographiques souvent très distantes, que l'on cherche à « accoupler ». Ainsi, on a pensé trouver des corrélations entre une anomalie de température de surface de la mer dans le quart Nord-Ouest de l'Atlantique et un comportement pluviométrique déficitaire (ou excédentaire) sur le Nord-Ouest de l'Europe (sécheresse de 1976) ou sur la façade atlantique du Maroc.

Notons ici que le mythe des « sept années de vaches grasses » alternant avec les « sept années de vaches maigres », qui a eu cours dans l'Égypte ancienne, marque plutôt une variabilité dans le débit du Nil, qui a son origine en zone tropicale.

En fait, concernant la Méditerranée elle-même, à des latitudes intermédiaires avec la circulation des zones tempérées, on n'a pu, à ce jour, faire apparaître des cycles « pseudo-périodiques » à l'échelle régionale ou sous-régionale, qu'il serait alors possible de projeter valablement aux échéances du siècle prochain.

En termes pratiques, cette menace climatique concernera les effets d'une pénurie de l'eau disponible, qu'il s'agisse de l'alimentation des villes en termes quantitatifs et qualitatifs, ou de la production agricole avec ou sans irrigation. On ne saurait manquer de citer aussi un risque d'ordre proprement biologique concernant la progression des maladies infectieuses tropicales, liée elle-même à la migration de certains vecteurs, comme le moustique anophèle très sensible aux températures et humidités fortes qui transmet la malaria.

Le chiffrage des besoins en eau par habitant pour les pays concernés, au Sud et à l'Est du Bassin fait apparaître des perspectives progressivement aggravées en deçà de 2025, devenant critiques au-delà. (Plan Bleu, 1997) au seul motif de l'accroissement de ces besoins. L'apparition d'un « point d'inflexion climatique » à cette date de référence, qui viendrait appauvrir l'offre, devrait focaliser les préoccupations des grands décideurs de la vie socio-économique et justifier des parades appropriées en fonction de l'urgence.

1.2. Les parades : un esprit de combat

« Prévenir vaut mieux que guérir ». Cet adage universel a pour corollaire la planification visant à mettre en place un véritable système défensif, pour réduire les conséquences des risques prévisibles. C'est, d'une certaine manière, un état

d'esprit, sinon à créer, du moins, à faire progresser, consistant à traiter les problèmes dans une perspective d'innovation sur le moyen-long terme, en échelonnant les réalisations nécessaires dans un Plan de Défense Civile, qui pourrait être annexé à une éventuelle Stratégie de développement durable en Méditerranée.

La planification en cause aura des aspects très différents, selon que l'on se place en milieu rural, où la menace concerne une population à densité relativement faible, pour laquelle la limitation du stress hydrique représente la survie, à travers une production agricole qui en est fortement dépendante ; ou en milieu urbain, où comme on l'a déjà noté, la concentration accélérée de la population rend celle-ci d'autant plus vulnérable au choc possible d'un risque naturel brutal.

Pour le secteur rural, un tel Plan comportera des dispositions du Droit de l'Eau, concernant sa répartition équitable au profit de la Communauté, les charges communes pour le maintien des bons écoulements, la protection des stockages, etc. et les limitations à l'utilisation intensive en temps normal et en temps de crise, particulièrement pour l'irrigation.

Pour le secteur urbain, le Droit de l'Eau comprendra de la même manière, des dispositions préventives sur la répartition et l'utilisation rationalisée de la ressource en eau disponible. Les schémas d'urbanisme incluront ces considérations dans les conceptions défensives plus larges, où on se préoccupera, d'une part, de réduire l'effet de possibles crues torrentielles (réseaux de drainage plus efficaces ; limitation des surfaces imperméables) ; d'autre part, de réduire les conséquences de séismes éventuels par des concepts architecturaux adaptés, tenant compte d'un pré-microzonage des secteurs dangereux et aménageant un « flotage » de la cité, capable de répondre aux exigences de l'évacuation et du secours rapide en cas de sinistre.

La protection des « lignes vitales » – ce qui inclut l'arrivée d'eau potable et le drainage des eaux usées, l'électricité et le gaz, la communication (téléphonique) fera partie de cette planification de la ville, devenue d'autant plus indispensable que le taux d'urbanisation devrait atteindre plus de 70 % sur le pourtour méditerranéen.

Sur le plan méthodologique général, les objectifs désignés sont clairs. Fondamentalement, il s'agit de favoriser dans les multiples domaines de la réduction des risques, des échanges d'information plus étoffés et plus directifs, la mise en commun de certains moyens (systèmes de surveillance, banques de données, secours d'urgence) et, progressivement, la mise en place de structures de contrôle et gestion de ces moyens pour une veille permanente, avec le concours des meilleurs spécialistes de tous les pays concernés, au Nord et au Sud du Bassin.

Ceci implique que soient posées les premières bases, qui se rapportent :

- au renforcement et à l'établissement de réseaux, au double sens du terme de réseaux « techniques » de surveillance et d'intervention, respectant une cohérence et une densité spatio-temporelle convenables, pour tous besoins, opérationnels et de recherche ; et de réseaux « organisationnels » rassemblant dans le tissu des organisations gouvernementales et non-gouvernementales des personnalités de mêmes affinités, compétences et motivations ;

- à l'élargissement et à l'échange d'enseignements de type scolaire, universitaire et d'application dans les domaines scientifiques autant que techniques,

avec vocation à promouvoir la diffusion des connaissances au sein des générations montantes, et à susciter des vocations utiles parmi les jeunes étudiants. L'utilisation nouvelle des moyens « multimédias », comme le CD-ROM, et le passage à des méthodes de simulation type « réalité virtuelle » où l'on peut introduire des paramétrisations variées et étudier en quelque sorte *in vitro* leurs conséquences sensibles, donneront à ces enseignements une efficacité considérablement accrue.

2. La recherche appliquée

Dans le domaine des risques, le clivage entre recherche théorique et recherche appliquée tend à s'estomper, en fonction des besoins de plus en plus pressants de la protection civile. Cette voie est déjà largement tracée en météorologie, où, sous l'objectif affiché « prévision toutes échelles, toutes échéances », on intègre la recherche en mécanique des fluides, depuis la plus petite échelle espace-temps effectivement représentable, jusqu'à la dimension du climat, dans une représentation espace-temps bien différente.

De proche en proche, la mise au point de modèles numériques, toujours voués à l'objectif final de la prévision, s'étendra à l'hydrosphère, en y incluant l'hydrologie classique et la dynamique océanique, qui bénéficient toutes deux de l'homogénéité première du milieu traité ; puis à la lithosphère, le milieu « solide », qui, au contraire, souffre de la complexité des milieux géophysiques internes, de résilience, viscosité et répartition géographique très variables.

Le passage de la recherche à l'opérationnel constitue une préoccupation majeure de la stratégie générale. On considère que les deux fonctions fondamentales « comprendre pour prévoir » et « prévoir pour maîtriser » comportent une composante recherche, à dominante scientifique pour la première et à dominante ingénierie technologie pour la seconde. En réalité, tout au long du processus, existe le besoin d'une interactivité plus étroite entre l'une et l'autre.

Sur le plan concret, cette évolution se fera, grâce, en particulier, à l'émergence de deux outils particulièrement performants : l'outil satellite et l'outil informatique, qui se révèlent d'ailleurs complémentaires, dans la mesure où les données foisonnantes collectées et débitées à jet continu par l'un, demandent impérativement l'aide de l'autre pour leur traitement rapide, en temps quasi-réel, et leur archivage permanent, sur la longue durée.

2.1. L'outil satellite

Un satellite comme Météosat a, tout à la fois, un don d'ubiquité puisqu'il couvre ainsi toute la Méditerranée, au milieu de l'ensemble Europe – Afrique ; et un certain don d'équité, puisqu'il accorde la même précision d'observation, avec le même niveau de fiabilité, à tous les éléments géographiques (« pixels ») de la région qu'il embrasse.

Cette observation, obtenue en temps réel modifie spectaculairement notre vision du monde géophysique, en faisant apparaître des liaisons, non perçues jusque-là, par simple effet d'échelle ou par insuffisance sensorielle de l'œil

humain. L'imagerie des satellites météorologiques démontre ainsi son efficacité aussi bien à grande échelle géographique, en évaluant le bilan radiatif Terre – Atmosphère – Espace, qu'à petite échelle, en révélant, par exemple, l'existence de tourbillons assimilables à des cyclones tropicaux sur le Bassin méditerranéen. La circulation tourbillonnaire, qui visualise « l'empilement » des échelles de turbulences, a été l'un des premiers acquis du satellite météorologique. Celui-ci renseigne aujourd'hui plus finement sur l'organisation des systèmes pluvio-gènes majeurs : il sera donc de premier intérêt pour améliorer la prévision des pluies torrentielles génératrices de crues dévastatrices en zones côtières, particulièrement dans l'Ouest du Bassin.

Moins en évidence, mais toujours très utile, le satellite a également un rôle de support de la recherche pour la géotectonique, en particulier dans le cas des volcans (les déformations superficielles sous la poussée du magma sous-jacent, constituent un indicateur précieux pour comprendre les stades d'évolution du phénomène éruptif), et dans l'identification des failles sismiques actives (on réalise aujourd'hui une « extensométrie satellitaire » de plus en plus vaste, par télémétrie laser ou par réseau de stations GPS ; ce dernier va se construire en Méditerranée).

Ainsi est-on conduit à demander plus à l'imagerie des satellites. Selon les deux axes suivants :

(i) Une résolution géographique de plus en plus fine. On « descendra » de plus en plus de la résolution du kilomètre, assurée régulièrement par les satellites météorologiques jusqu'à la dizaine de mètres (ou moins) des satellites de télédétection (SPOT, LANDSAT) ; mais ces derniers ne peuvent donner, à ce jour, qu'une observation épisodique, à cause du masque de la couverture nuageuse. On demandera donc de façon concomitante des progrès dans l'imagerie type radar, qui transperce ces nuages : c'est le domaine potentiellement très riche de l'optique, dite active, en hyperfréquences.

(ii) Une extension verticale de la mesure des profils verticaux, à l'échelle fine, déterminants pour la connaissance des instabilités de la masse d'air et de la quantité de l'eau précipitable incluse dans cette masse.

On voit là deux ouvertures importantes vers la connaissance des mécanismes fondamentaux de l'évolution de cette eau, de la source nuageuse à la répartition au sol, avec en point de mire, la prévision ou tout au moins l'évaluation, des sécheresses futures.

2.2. *L'outil informatique*

Le numérique devient le vecteur d'information principal en matière de sciences naturelles dans les domaines en rapport avec les risques, qu'il s'agisse d'enregistrer les données sous une forme très accessible, de les traiter dans des modèles axés sur la prévision, d'intercomparer les données en sortie de ces modèles avec la réalité observée ; enfin, dans le domaine pré-opérationnel, la transmission régulière de ces données par modems dans les réseaux d'utilisation.

La mise au point des modèles de prévision résulte d'un processus interactif entre, d'une part, des formulations physiques – mathématiques, et d'autre part, des intercomparaisons de leurs résultats avec les données « expérimentales »,

c'est-à-dire observées dans le monde réel. On passe ainsi par degrés, de « l'explication analogique » de phénomènes plus ou moins individualisés, aux « explications numériques » de ces mêmes phénomènes, pour aboutir à leur assimilation dans un modèle global décrivant le milieu où ils interviennent.

Tel est bien le cas pour les modèles de prévision météorologique, où, par exemple, le phénomène de convection, générateur des pluies méditerranéennes, répond au schéma précédent. La météorologie a développé très vite des simulations rendant compte de la circulation générale de l'atmosphère (GCM), de son évolution et de ses manifestations extérieures (l'atmosphère « sensible » : vent, température, humidité et pluie). Les équations qui régissent les grands flux atmosphériques (particules ou « masses » d'air), sont des équations « aux dérivées partielles » – équations différentielles qui ne comportent d'autre solution que numérique.

Dans ce but, on peut faire appel à la « discrétisation » consistant à segmenter le parcours de ces masses d'air, représentées par valeurs discrètes aux points – mailles d'une grille géographique, qui « pave » une zone donnée. La maille – donc l'échelle géographique – peut d'ailleurs être variable : c'est le principe même du modèle français ARPÈGE, qui est capable de traiter des mailles de plus en plus petites, en un mot d'atteindre une finesse d'analyse de plus en plus grande, jusqu'à l'échelle locale. Il est clair que c'est précisément là l'échelle des phénomènes dangereux, comme les pluies diluviennes souvent très localisées sur le pourtour du Bassin – et, il s'agit par conséquent, d'un objectif important pour la recherche.

Le cheminement n'est malheureusement pas simple, car la modélisation du milieu atmosphérique fait intervenir des mécanismes complexes, tels que :

- le couplage entre échelles géographiques de dimensions superposées,
- les conditions d'interface à la limite inférieure (couplage avec la terre et l'océan) et à la limite supérieure (couplage avec la stratosphère supérieure et l'espace),

- « l'entrée » des données elles-mêmes : le modèle éventuellement ne peut les accepter à l'état brut. Il faut procéder à des filtrages et à des ajustements, que réalisent des calculateurs « frontaux » placés en-tête du système de calcul principal.

Toutes procédures coûteuses en volume et temps-calcul, à confronter avec les deux chiffres simples suivants. D'autre part, passer d'une échelle dimensionnelle à l'échelle moitié revient à multiplier par 8 (l'octet), en ordre de grandeur, le volume-calcul. D'autre part, les besoins opérationnels, qui sont assez bien satisfaits par une cadence de sortie de données toutes les 6 heures (réseaux « synoptiques »), demandent des cadences de trois heures ou moins pour les phénomènes dangereux plus locaux et d'évolution rapide. A ceci s'ajoute, naturellement, l'insuffisance de la densité et parfois de la nature des observations à ces échelles.

La recherche a donc un large champ d'action en matière de modèles ; mais la progression récente a été particulièrement rapide et les praticiens, qui ont la double caractéristique de scientifiques et d'ingénieurs, se montrent confiants dans les aboutissements du futur proche.

Ces perspectives auront nécessairement un retentissement favorable au niveau de la prévision en Méditerranée, où les perturbations de petite et moyenne échelle s'imbriquent assez systématiquement, et sont donc justiciables de techniques affinées, dans l'ordre de la connaissance physique comme dans l'ordre de la repré-

sensation mathématique. Mais il faut, non moins nécessairement, évoquer le coût financier de telles recherches, en temps calcul, sur les plus gros ordinateurs.

C'est la justification, citée plus loin, de la nécessité d'actions menées en coopération, pour partager les poids budgétaires. Les stages de chercheurs de coopérants autour d'une même machine, font partie des solutions envisageables (c'est déjà le cas à Météo France à Toulouse).

En ce qui concerne la recherche sur le risque « sécheresse », elle se place d'abord dans le contexte des recherches sur l'évolution du climat mondial, qui ont été évoquées au chapitre II.3. On rappellera seulement que ces recherches sont basées sur deux approches :

- d'une part, l'approche analogique, qui consiste à retrouver la trace « historique » des grands cycles biogéochimiques, comme le cycle du carbone, par des techniques d'archéologie climatique (sédiments, dendrochronologie, carottages des glaces polaires, etc.) portant sur des échelles de temps considérables. .

- d'autre part, l'approche numérique, portant sur l'époque actuelle, qui fait intervenir, autour du milieu atmosphérique les « forçages » que lui imposent les milieux adjacents, d'abord et surtout, le milieu océanique, et le milieu lithosphérique, avec son couvert végétal et les manifestations anthropiques qui s'y développent, c'est-à-dire au total, la biosphère.

On a vu que la météorologie maîtrisait, avec certaines limitations, le problème des modèles de circulation de l'atmosphère d'échelle « synoptique » (GCM). La recherche portera sur le perfectionnement de ces modèles dans le sens de la prise en compte d'échelles spatio-temporelles adaptées, et de la répartition de l'eau, notamment sous la forme précipitations.

Les modèles concernant les « forçages », d'ampleur globale ou d'effet compartimenté par régions (tel est bien le cas pour la Méditerranée, dans son rôle modérateur entre les effets contrastés des masses continentales voisines), en sont encore à un stade de mise au point plus sommaire, et laissent ainsi une large place à la recherche.

Dans ce domaine, la coopération internationale a un rôle moteur, avec la composante recherche Programme Climatique Mondial (WCRP) de l'OMM et du Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU), qui s'inscrit lui-même dans le Programme International Géosphère Biosphère (IGBP), dit parfois, « Global Change ». Par ailleurs, le Groupe Intergouvernemental sur le Changement Climatique (IPCC) reprend l'ensemble de ces recherches et il faut souhaiter qu'il puisse développer ses analyses pour le cas particulier de la Méditerranée. Le programme MEDIAS s'inscrit dans ce mouvement.

2.3. *Quelques pistes pour la recherche*

La recherche géotectonique émerge actuellement de l'observation du type science naturelle pour atteindre le stade où l'explication analogique peut déboucher dans le domaine numérique. Un stade intermédiaire est la simulation en laboratoire du comportement global de l'intérieur de la sphère terrestre et des manifestations extérieures qui en résultent (séismes, volcans). La nouvelle tendance, très ambitieuse, vise à modéliser en trois dimensions les interactions dans

la couche superficielle, tout en cherchant à mieux comprendre le comportement du magma, soumis à des pulsations d'origine probablement convective.

Il y a là une relation intéressante avec un phénomène essentiel de la physique atmosphérique, la formation de tourbillons dans une strate d'air inégalement chauffée à la base. C'est une piste d'investigation possible pour les théoriciens.

Plus immédiatement, ingénieurs et scientifiques doivent se préoccuper ensemble de transposer plus efficacement les sorties des modèles de prévision décrits plus hauts. L'atmosphère sensible définie à partir de ces données doit en fait être confrontée avec l'expérience acquise dans des situations antérieures.

En ce qui concerne la recherche technique, le défi aux « ingénieurs – techniciens », en matière de réduction des risques naturels, concerne l'adéquation des moyens de mesure aux besoins exprimés par les « ingénieurs – scientifiques », cofabricants de modèles prévisionnels ; et les appareillages ou systèmes capables d'assurer la protection, individuelle et collective, à l'heure de la catastrophe survenue.

Aux premiers, seront consacrées les recherches sur les instruments capables de donner des données significatives à l'échelle de dimension convenable. On désirera, à cet effet, disposer d'informations à l'échelle intermédiaire pour la météorologie (avion-radar Doppler), l'hydrologie (évaluation du ruissellement), la géotectonique (déformation des champs physiques autour des failles et des volcans).

La protection rapprochée, de son côté, est un domaine encore largement ouvert, où il faut composer avec la triple exigence de l'efficacité pour assurer la sauvegarde, la simplicité – sinon la rusticité – pour la manipulation des instruments, et, bien entendu, la modicité du coût. Un exemple est le déclenchement automatique de signaux d'interdiction de passage sur les routes et ponts en cas d'avalanche ou de séisme. De manière générale, l'ingénierie doit développer les techniques de signalisation rapprochée (optique, acoustique) du danger mais en cherchant toujours la solution de simplicité : en cas de détresse, un signal d'appel par sifflet individuel peut avoir davantage d'efficacité immédiate que la disponibilité du GPS le plus sophistiqué.

En matière de risque sismo-volcanique, on fondera de nouveaux espoirs sur la détection des légers mouvements du sol, peu ou mal détectables par les moyens classiques. Ainsi, les inclinomètres, mesurant les variations de pente du volcan sous l'effet de la poussée magnétique interne, s'enrichissent d'appareillages permettant de mesurer des variations de pente de l'ordre du micro-radian.

Par ailleurs, dans l'ordre des parades au risque sismique, on voit apparaître des matériaux inédits, dont les utilisations iront dans le sens d'une meilleure résistance des structures – matériaux composites pour le chaînage des bâtiments en état de vétusté, ou déjà altérés par de précédentes secousses – ; ou d'une réponse élastique aux sollicitations du sol, par l'interposition de coussins atténuateurs, tels que le néoprène, à la base des colonnes porteuses du bâtiment (projet GAPEC).

En matière de sécheresse, la lutte contre les effets de sécheresse représente un champ d'action littéralement géant pour la recherche technologique. L'une des directions les plus évidentes concerne l'agronomie et toutes les perspectives du génie génétique pour la création de variétés nouvelles adaptées : le dessalement

de l'eau de mer à coût réduit en combinant l'énergie solaire dans un échangeur adapté représente un défi passionnant.

Mais c'est peut-être la possibilité de provoquer artificiellement la pluie qui demande aujourd'hui une nouvelle réflexion et de nouveaux efforts. Il s'agit là d'un très vieux rêve, qui a soulevé un grand espoir lors des premières expériences de l'immédiate après-guerre ; mais il a bien fallu reconnaître que les difficultés rencontrées dépassaient alors « l'état de l'art » des techniques disponibles. Qu'en est-il aujourd'hui ?

Il faut d'abord disposer de nuages « favorables ». Intervient classiquement ici le processus du suédois Bergeron, fondé sur la présence, dans les gros nuages convectifs du genre cumulus congestus ou cumulonimbus, souvent pré-orageux, de zones à très haute altitude, (au-dessus de 5 à 6 km) où l'on trouve à la fois des cristaux de glace et des gouttelettes d'eau en surfusion. Dès l'instant où la tension de vapeur saturante au-dessus de la glace est moindre qu'au-dessus de l'eau – la vapeur saturée par rapport à l'eau est sursaturée par rapport à la glace – il y a finalement transfert de condensation au profit des cristaux, qui grossissent jusqu'à atteindre la taille critique les faisant tomber par effet de gravité. Le mécanisme descensionnel libère des quantités de particules glacées puis de gouttelettes liquides, fonctionnant progressivement « en avalanche » : c'est le phénomène de la pluie.

Ce mécanisme a été, dès 1946-1947, mis à profit par les physiciens Langmuir et Schaeffer dans une série d'expériences retentissantes, d'abord en laboratoire, dans des conditions très rustiques (un simple réfrigérateur domestique) ; puis dans l'atmosphère elle-même, en ensemençant à 5 000 m d'altitude un nuage altostratus surfondu (à -18°C) de plusieurs kilomètres de long, avec quelques kilos de glace sèche, répandue à partir d'un petit avion.

Ce début prometteur conduisait rapidement à la découverte des effets de l'iodure d'argent – initialement choisi pour la ressemblance morphologique de ses cristaux avec ceux de la glace – ; les noyaux d'iodure d'argent deviennent effectivement autant de noyaux de congélation. Malheureusement, les effets ainsi démontrés n'obtenaient pas, par la suite, les confirmations que l'on avait immédiatement espéré.

Une autre série de tentatives, a utilisé le principe de coalescence – c'est-à-dire l'amalgame – pour la formation de grosses gouttelettes, applicables cette fois aux nuages plus chauds, ne comportant pas l'étage « glace » de Bergeron. L'expérimentation la plus simple consistait alors à projeter depuis un avion une pluie de gouttelettes, « ensemençant » le nuage sous-jacent. Mais ces tentatives n'ont pas non plus démontré une efficacité vérifiable.

On peut donc conclure aujourd'hui – cinquante ans après la grande espérance initiale – à un échec des tentatives humaines pour provoquer la pluie. Mais est-ce un échec définitif ? On doit répondre « non », car la difficulté physique rencontrée est certainement soluble. Par quelles pistes ?

Il s'agit d'abord d'utiliser les résultats d'expériences déjà menées en recherchant, avec précision, où et quand lesensemencements pratiqués ont paru avoir un effet positif, bien que très partiel.

Il s'agit, ensuite et surtout, de mettre plus de science dans l'investigation sur la modification du nuage. La relation entre la microphysique et le dynamique de

celui-ci, est au cœur du problème. Peut-être, sera-t-il possible de découpler en quelque sorte, l'une et l'autre, en considérant le cas particulier des nuages orographiques, c'est-à-dire accrochés au relief et donc placés en conditions « de laboratoire ». Mais c'est bien précisément en laboratoire au sol qu'il faut d'abord opérer, pour mieux comprendre les réactions d'une masse complexe de cristaux de glace et de gouttelettes – et certains effets physiques associés dans leur environnement immédiat, par exemple l'électrophorèse

Il s'agit, parallèlement, de se doter des moyens d'identifier *in situ*, le compartimentage des zones pluvigènes, elles-mêmes liées, comme dit plus haut, aux types de circulation des particules d'air différenciées au sein du nuage. Là réside peut-être la raison la plus fréquente des échecs répétés, car les doses d'ensemencement de produits « tensio-actifs » peuvent avoir été insuffisantes, par l'effet d'une forte dilution en milieu non-opérant, faute de pouvoir repérer avec précision les milieux efficacement ensemenables.

En clair, les ensemencements, par cassolettes depuis le sol, ou par fusées, plus rarement par avion, manquent d'une cible convenablement précisée : les opérations de pluie provoquée récentes ont été conduites un peu « en aveugle »...

Travailler en bonne correspondance entre le laboratoire et les vérifications en « vraie grandeur », constitue l'éternel défi de la recherche en géophysique, qui souvent fait apparaître, au détour d'une expérience apparemment infructueuse, la solution vraie, dans une direction souvent inédite. En retrouvant l'enthousiasme du début, et en perfectionnant la double approche scientifique et méthodologies « en vraie grandeur », le pari de la pluie provoquée peut être gagné ! On voit bien que les conditions environnementales générales sur la majeure partie du littoral méditerranéen, sont particulièrement propices à de telles investigations, parce qu'on y trouve en présence simultanée l'eau atmosphérique et l'orographie côtière adéquate, qui engendrent à la fois la formation de nuages convectifs « à sommet froid » et de nuages « chauds », liés à cette orographie, les uns et les autres permettant des expérimentations variées. Il serait donc justifié de mettre les capacités créatrices des physiciens méditerranéens au service d'un tel effort, en vue de limiter les effets des sécheresses, qui ne peuvent manquer de se développer et de se multiplier gravement au cours du siècle à venir.

3. La coopération internationale en Méditerranée

Au cœur des solutions envisageables pour la réduction des risques naturels, la coopération à tous niveaux apparaît comme essentielle dans la région méditerranéenne, parce qu'elle traduit en forme concrète, deux principes forts, à savoir que la solidarité est le premier des devoirs pour y assurer la paix et la prospérité, et que l'union de tous fait la force de chacun. La zone géographique touchée par une catastrophe devient brutalement invalide, parfois inerte, incapable d'autodéfense. Il faut l'aider à retrouver une attitude de vie.

Cette aide ne peut venir, dans l'immédiat, que des zones voisines à l'échelle nationale et à l'échelle internationale, en considération du facteur de proximité : car si, par exemple, les moyens modernes de transport pour l'acheminement des secours ont sensiblement réduit les temps d'accès, il reste que les moyens lourds,

avec capacité d'emport suffisante – bateaux et camions – demandent pour leur acheminement, plus ou moins inhibé par les dégâts de la catastrophe, de longues heures, ou plus souvent des demi-journées, qui sont vitales pour l'efficacité de l'assistance aux survivants, particulièrement pour les blessés. Parallèlement, la mobilisation des compétences – notamment médicales – se fera d'abord à partir des secteurs les plus proches.

Au niveau des secours, la coopération inter-zones s'impose donc ; et il est réconfortant de constater, à l'occasion de récentes catastrophes, que cette coopération se met en œuvre spontanément, par un élan généreux des populations, bientôt relayées par le déploiement des services de défense civile de l'État – et des États limitrophes –, et par les ONG qui, dotées d'une souplesse particulière de fonctionnement, se placent régulièrement en pointe dans les interventions d'aide humanitaire.

Mais les actions de secours ne sauraient être vraiment efficaces sans une organisation et une coordination préparées à l'avance. Ceci pour d'évidentes raisons d'efficacité opérationnelle, car il existe dans la plupart des domaines-clés, comme par exemple, les télécommunications et les transports, des interdépendances fonctionnelles de plus en plus importantes, qui demandent des mises au point et des arrangements – voire des arbitrages – préalables.

D'autre part, le coût élevé des investissements préventifs, pour le renforcement des réseaux existants, ou le développement de nouveaux réseaux – liés à l'informatique, c'est-à-dire dépendant de gros calculateurs – dépasse rapidement les possibilités des pays individuels, qui ne peuvent consacrer une part trop forte de leurs budgets à l'hypothèse d'un événement rare et d'intensité excessive.

Toutes ces raisons convergent pour envisager une coopération intraméditerranéenne plus « organique », qui trouverait son expression concrète dans le concept d'un « réseau des réseaux » et la mise en place d'un « Observatoire » qui en assurerait la coordination, pour améliorer la sauvegarde des populations méditerranéennes.

3.1. *Un réseau de réseaux*

Dans l'esprit de « l'Agenda 21 », adopté par la Conférence de Rio, les liaisons puis les programmes utiles pour la réduction des risques naturels, seront plus précisément définis au niveau des Organisations internationales et régionales, « généralistes » ou « thématiques », dont on trouvera la liste ci-après, décomposée entre Organisations intergouvernementales « faîtières » ayant vocation à la coordination de niveau global, Organisations intergouvernementales à vocation thématique, couvrant un domaine d'activités techniques en rapport direct avec le problème posé, et enfin Organisations non gouvernementales, que l'on peut également classer comme techniques, disposant de la flexibilité convenable pour aborder un certain nombre de tâches pratiques en complément des tâches et responsabilités des organismes gouvernementaux.

3.1.1. *Organisations intergouvernementales « faîtières »*

1. Il convient, sans doute, de citer d'abord le Département des Affaires Humanitaires (DAH) de l'ONU, qui supervise notamment les activités de la Décennie

Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (DIPCN/IDNDR) décidée par l'Assemblée Générale des Nations Unies en décembre 1987, et mise en œuvre de 1990 à 1999. Ce département a repris les anciennes activités de l'UNDRO à Genève, en les intégrant dans un ensemble plus vaste de réalisations de prévention et de secours dans toutes les régions du monde touchées par des cataclysmes. Son siège administratif est à New York, mais la composante genevoise joue toujours un rôle très important.

2. Au nom de deux de ses missions principales (Sciences et Culture), l'UNESCO soutient un programme général pour la réduction des catastrophes naturelles, coordonné par une unité spéciale et qui implique sa Division des Sciences de la Terre (risques géotectoniques) et sa Division des Sciences de l'Eau (Programme Hydrologique International IHP). Au sein de l'UNESCO, le programme MAB (Man and Biosphere) traite également les problèmes des zones arides et de la désertification.

3. Le PNUE et le PNUD ont, par leur vocation de base, un rôle dans les programmes d'études pour l'un, des solutions pour l'autre, applicables à la réduction des risques naturels.

4. Le Conseil de l'Europe par son programme EUR-OPA – Risques majeurs assure la mise en place de centres d'études scientifiques qui sont consacrés à ces problèmes (Ankara, Athènes, Rabat, Skopje). Sous le nom de FORM-OSE, des fonctions d'enseignement permanent se mettent en place, en liaison avec le groupement de chaînes d'Université UNIMED.

5. La Commission Européenne par son programme ECHO (European Commission Humanitarian Organization), initialement consacré aux soutiens post-catastrophes – notamment à caractère géopolitique – étend désormais son action au secteur de la prévention. La Direction Générale XII, consacrée à la recherche, a récemment traité dans son programme EPOCH des problèmes du climat futur, et notamment de l'aridité en zone méditerranéenne.

3.1.2. Organisations intergouvernementales « thématiques »

6. L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) est multiplement concernée par les problèmes de risques naturels ; et singulièrement en Méditerranée où les pays riverains appartiennent à trois de ses Associations Régionales (Asie, Afrique et Europe).

7. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est évidemment impliquée dans les problèmes de secours médicaux post-catastrophes, mais son action dans le domaine des risques, s'étend désormais aux aspects préventifs.

8. La FAO joue un rôle actif dans tous les aspects agronomiques et pastoraux de la sécheresse, ainsi que dans la protection contre les invasions de criquets et les feux de forêt ainsi que dans l'aménagement des bassins versants.

9. L'Union du Maghreb Arabe (UMA) a lancé une concertation générale des pays maghrébins sur le thème de l'aridification et de la désertification. L'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) travaille dans la même direction.

3.1.3. Organisations non gouvernementales (ONG)

10. Il faut placer au premier rang d'entre elles, les organisations caritatives, et notamment la Croix Rouge, dont l'action est très souvent couplée avec celle du

Croissant Rouge en pays musulmans. Les deux organisations ont pour objet les secours médicaux aux victimes d'une catastrophe, particulièrement d'une catastrophe naturelle. Mais, en raison de leur efficacité démontrée, leur champ d'action est devenu progressivement plus vaste, s'étendant de la protection des survivants (en matière d'aide d'urgence) à la formation préventive, non seulement des secouristes, mais aussi des populations menacées et des « acteurs » de la prévention.

11. Dans le cadre du Conseil International des Union Scientifiques (CIUS), qui rassemble de nombreuses Unions scientifiques à caractère mono-disciplinaire, l'approche scientifique des problèmes de réduction des risques, fait l'objet d'études attentives. Parmi les unions qui s'intéressent, plus spécialement à l'étude ou à la réduction des risques, on peut citer UGI (géographie), UGGI (géophysique), UISG (géologie), IASPEI (sismologie), IAVCEI (volcanologie), CODATA (données science et technologie), AIMP (météorologie), AIHS (hydrologie), etc. Le CIUS partage avec l'OMM, la gestion du programme WCRP de recherches sur le climat global et participe à de nombreux autres programmes, tels l'IGBP (« Global Change »). Un Comité spécial « SC-IDNDR » du CIUS se consacre plus spécialement à la Décennie pour la Prévention des Catastrophes Naturelles.

12. Les deux organisations UATI (Union des Associations Techniques Internationales) et FMOI (Fédération Mondiale des Organisations d'Ingénierie), représentent ensemble quelques 120 organisations mondiales, nationales (FMOI) et « thématiques » (UATI) ; elles ont réuni leurs actions en faveur de la Décennie dans un programme commun comportant cinq « projets de démonstration internationale » reconnus par le Comité scientifique et technique de la Décennie.

13. Le Centre sismologique Euro-Méditerranéen (CSEM) traite des problèmes sismiques sous l'angle recherche et sous l'angle opérationnel (détection à distance des séismes). Autrefois installé à Strasbourg, aujourd'hui en Île-de-France, le CSEM travaille également en relation avec le Commissariat français à l'Énergie Atomique (CEA), sur la construction anti-sismique.

14. Différentes autres organisations régionales à buts scientifiques et pratiques se consacrent au même domaine, telle l'Association maghrébine pour le génie para-sismique, qui groupe des experts de Tunisie, Algérie et Maroc.

15. Les Sociétés scientifiques de météorologie en Europe ont décidé de fédérer leurs activités. Le projet, dit EMS, concerne essentiellement la Grèce, la Slovénie, la Croatie, l'Italie, la France et l'Espagne. Les risques hydrométéorologiques (y compris les avalanches alpines) constituent un des thèmes importants traités par l'EMS dans ses manifestations.

16. Le Programme RELEMR (Reduction of Earthquake Losses in the Eastern Mediterranean Region) est particulièrement exemplaire parce qu'il associe toutes les composantes du problème du risque sismique, à l'échelle de la mosaïque de pays riverains de cette zone sensible (faille de la Mer Morte s'inscrivant dans le grand axe de cisaillement Mer Rouge – Turquie). L'ambition du RELEMR est de rassembler la Turquie, Chypre, le Liban, la Syrie, Israël, la Jordanie, les Territoires palestiniens, l'Égypte et également le Koweït, l'Arabie Saoudite et le Yémen. Le projet dérive du constat que « si les Agences nationales responsables des réseaux sismologiques nationaux, du zonage sismique, de l'établissement des codes de construction, etc. sont convenablement coordonnées entre elles, en revanche la

coordination trans-frontière est très insuffisante ». Cette considération illustre un besoin finalement ressenti par toute la communauté méditerranéenne. Le projet RELEMR bénéficie d'un copilotage et d'un cofinancement important de l'UNESCO, de l'USGS et des pays concernés. La moitié environ du financement prévu est affectée à des équipements.

17. Le programme sur l'évaluation et la diminution du risque sismique dans la région arabe (PAMERAR) a été lancé au lendemain du séisme d'El Asnam en Algérie en 1980 par l'UNESCO, avec le soutien du Fonds arabe de développement économique et social et de la Banque islamique de développement. Ce programme, toujours en cours, consiste dans le développement de réseaux de stations d'observation sismologiques, l'établissement de cartes montrant les risques, l'élaboration de normes de construction adéquates, la formation des sismologues, ingénieurs, et professionnels de la protection civile. Le programme comporte aussi la conception de campagnes publiques d'information visant à sensibiliser sur le risque des tremblements de terre. Grâce à ce programme, un certain nombre de pays arabes de la Méditerranée (Algérie, Maroc, Tunisie, Syrie, Égypte) ont pu renforcer les ressources humaines capables de mieux gérer le risque sismique et créer ou développer des réseaux et équipements appropriés pour surveiller et réduire ce risque.

18. Le projet « Séminaire Itinérant de la Décennie IDNDR pour la Méditerranée » (SIDMED) est géré principalement par l'UATI, en partenariat avec la FMOI et le Conseil de l'Europe. Ce projet reprend en bonne part, les intentions du programme SEISMED, qui a groupé avec succès, de 1988 à 1992, dix-sept pays méditerranéens, à l'invitation du PNUD et de l'Italie, pour des études sur la prévention du risque sismique. SIDMED traitera, en fait, de la protection contre trois risques majeurs, séismes (et volcans), crues torrentielles, sécheresse (et aridification), dans des séminaires thématiques ouverts au dialogue praticiens-décideurs, que l'on prévoit dans des villes au Nord et au Sud de la Méditerranée. Le premier séminaire de la série a lieu à Rabat, en septembre 1997, à l'invitation des Ministères marocains concernés, et en présence d'experts de différents pays du Bassin.

19. Le programme UNIMED est consacré à la mise en place d'un enseignement de haut niveau entre chaires des Universités méditerranéennes, en liaison avec le programme EUR-OPA/FORM-OSE du Conseil de l'Europe, sur le thème général des risques naturels. Il s'articule avec différents systèmes d'enseignement, tels l'ICS (International Centre for Sciences and High Technology) qui maintient un programme étoffé d'activités à Trieste, en Italie.

20. Les programmes relatifs à la sécheresse et à la désertification sont particulièrement nombreux : ROSELT (Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique sur l'Environnement) mis en œuvre par l'OSS, qui se dotera d'autre part du dispositif d'Observation de la Désertification, de Suivi et d'Évaluation (DOSE). Le programme MEDIAS, lié à l'IGBP, couvre, de son côté, un certain nombre de projets, tels que SUDDAN (Suivi de la Dynamique de la Désertification en Afrique du Nord) ; le programme GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems) englobe lui-même une branche méditerranéenne. Le projet ADAM (African Dust Across the Mediterranean) a, à l'évidence, un impact sur la recherche de l'évolution du climat méditerranéen.

21. Enfin l'International Workshop on Disaster Reduction in the Mediterranean Region, réunie à Castelnuovo (Italie) en septembre 1996, a recommandé le lancement d'une étude générale intitulée « Mediterranean Regional Strategy for Disaster Prevention and Vulnerability Reduction », sous l'égide de la Décennie.

3.2. *Observatoire pour les catastrophes naturelles en Méditerranée*

Les concepts généraux de coopération intra-méditerranéenne en réseau pourraient conduire, sur un plan pratique, à confier certaines tâches communes à une entité de caractère scientifique et technique, vouée à la connaissance et à l'échange d'information et d'expérience. On lui donne ici le nom d'Observatoire.

Un tel organisme, à structure multi-nationale et fonctionnement permanent en réseau, pourrait orienter ses activités vers quatre objectifs essentiels : (3.2.1.) Connaissance de base du milieu naturel et sociologique méditerranéen ; (3.2.2.) Mise en place coordonnée des moyens de prévention ; (3.2.3.) Développement coordonné de l'éducation préventive ; (3.2.4.) Recherche coordonnée (dans l'ordre scientifique, technologique et organisationnel). On trouve là, en facteur commun, le besoin de créer une référence, valable pour l'ensemble des pays méditerranéens, se traduisant à la fois par la réunion d'un corps de hauts spécialistes, ayant des correspondants bien identifiés dans les divers pays, et par la mise en commun d'informations (banques de données et modèles) et éventuellement de moyens matériels d'étude ou de secours.

3.2.1. *Connaissance de base*

On se propose de définir « l'état initial », c'est-à-dire les conditions normales avant la catastrophe possible alors que l'environnement maintient une situation de stabilité. A partir de ces études, l'Observatoire pourrait évaluer certaines tendances de fond (exemple : le climat) qui sont susceptibles de se développer dans la courte, moyenne ou longue échéance.

A cette fin, l'Observatoire devrait réunir, à la fois, les données archivées et les données actuelles avec le souci matériel des compressions d'archivage pour l'analyse des tendances physiques susmentionnées (analyse de statistique mathématique couplée avec les modèles dynamiques) et pour l'étude des évolutions sociologiques à prendre en compte dans la réduction des risques.

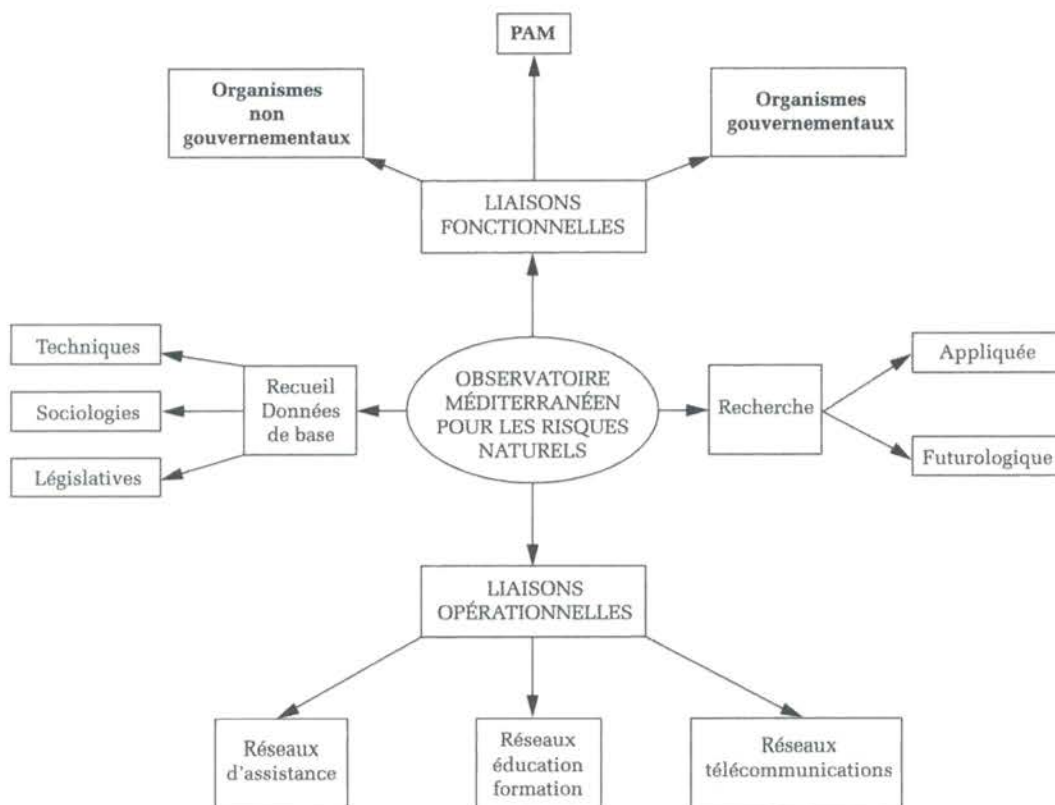
Le schéma de travail de l'Observatoire serait ainsi résumé :

-
- collecte des données utiles (archivées et actuelles) ;
 - cartographie générale (analogique et numérique) de l'état de l'environnement méditerranéen ;
 - évaluation des tendances (milieux physiques ; sociologie).
-

3.2.2. *Dissémination et coordination des mesures préventives*

L'un des premiers rôles de l'Observatoire serait de veiller à la bonne dissémination et coordination des efforts de prévention. Indépendamment de l'éducation

Diagramme 9



préventive, examinée au chapitre III, la prévention concerne, d'une part, la mise en place d'infrastructures, et d'autre part, la préparation des moyens mobilisables dans l'intervention effective.

On voit, ici, la nécessité de transferts de technologie entre pays de la région, pour disposer de solutions techniquement homogènes, capables de procurer la meilleure fiabilité des infrastructures et la meilleure possibilité d'échanges par les voies de télécommunications existantes ou à créer.

On porterait ainsi une attention particulière à l'information relative aux codes de construction, pour l'habitat individuel et collectif ; à la protection des réseaux urbains (eau, assainissement, électricité) et des voies d'accès (ouvrages d'art) ; enfin à la protection des réseaux de télécommunication (filaires, radio). Ces réseaux urbains ont déjà été cités précédemment comme éléments « vitaux », pour la défense de la Cité. On vise également ici les moyens d'intervention pré-stockés qui doivent être, *a priori*, compatibles avec les normes du plus grand nombre possible de pays méditerranéens. On choisirait aussi comme thème de travail de l'Observatoire, l'ensemble des législations et des directives réglementaires encadrant la mise en œuvre de ces dispositifs.

Un aspect contingent concerne, avec le problème du financement, l'examen en commun de certaines formules susceptibles « d'aider l'impôt » destiné à la réduc-

tion des risques, sous la forme de taxes para-fiscales et de dispositions de l'assurance (mises en exergue en France dans la première conception des Plans d'Exposition aux Risques : assujettissement partiel de cette couverture-assurance à la contribution des assurés eux-mêmes dans la protection de leur habitat ; extension générale de la couverture – assurance au cas des risques majeurs).

On peut résumer ces tâches dans le tableau suivant :

-
- transferts de technologie (par exemple : codes de construction)
 - mise en place et développement de réseaux méditerranéens (urbains ; télécommunications)
 - mise en harmonie des législations afférentes, y compris l'assurance
-

3.2.3. *Coordination pour l'enseignement*

La réduction des risques naturels impose d'abord, pour la meilleure conjugaison, des efforts, la création d'un langage commun, en commençant par l'école, puis l'enseignement supérieur, en s'appuyant sur la mise au point d'un glossaire multilingue informatisé pour tous les pays méditerranéens.

Au-delà de l'éducation générale qui pourrait être harmonisée au plan régional, il faudra se proposer de former des spécialistes, capables de maîtriser les techniques modernes, avec toute la flexibilité, nécessaire pour être immédiatement utiles sur un champ d'opération qui ne sera plus nécessairement celui de leur pays d'origine. On mettra particulièrement en évidence la formation de secouristes.

Dans tous les cas, les moyens modernes d'accès à la connaissance et à l'information s'imposeront inévitablement : on fait ici état, notamment, du CD-ROM, d'utilisation désormais systématique, on fera appel aux techniques de « réalité virtuelle », pour concrétiser les scénarios possibles ou probables, dans le cas d'une catastrophe survenue. Les extensions du type INTERNET, applicables au télé-enseignement, entrent dans le champ des applications prochaines. On peut imaginer, à ce propos, l'intérêt de créer un site-serveur INTERNET pour les besoins généraux des États et de leurs Services.

Ceci se résume, en pratique, dans le tableau suivant :

-
- création d'un langage commun (glossaire) ;
 - enseignement scolaire/universitaire (utilisation systématique de moyens audiovisuels, notamment CD-ROM ; télé-enseignement) ;
 - formation spécialisée, y compris formation de secouristes, utilisation de la réalité virtuelle pour la simulation de situation de crise.
-

3.2.4. *Coordination de la recherche*

Enfin, on ne reviendra pas ici sur l'importance de la recherche, qui pourra être stimulée par l'Observatoire et bénéficier de toutes les synergies ainsi créées, dans l'ordre scientifique (connaissances physiques pour la prévision), technique (outils de la prévention et de l'intervention), organisationnel (modèles de pertinence).

*
* * *

Bien évidemment les initiatives suggérées ici et notamment la mise en place d'un Observatoire, fonctionnant grâce à un réseau de services ou de points focaux nationaux, demandent que s'engage dès que possible un débat au sein du Plan d'Action pour la Méditerranée, afin que les pays méditerranéens réfléchissent ensemble sur les modalités de coopération qui leur paraîtront les plus appropriées, pour l'ensemble des risques naturels auxquels ils sont confrontés ou pour tel ou tel d'entre eux. L'importance croissante du sujet dans une région aussi vulnérable aux aléas géophysiques et dans un contexte de recherche plus accentuée de protection des personnes et des biens par le corps social militent en faveur de la coopération accrue qui est préconisée ici.

ANNEXE 1

Références principales

La documentation sur les thèmes traités dans ce fascicule peut être consultée dans les principales Organisations nationales, régionales ou internationales, concernées par les risques naturels.

Au niveau international, on citera, à côté de l'ensemble des publications du PNUE/Plan d'Action pour la Méditerranée, quelques sources d'information générales :

- PNUD, pour le programme SEISMED à New York,
- DAH Département des Affaires Humanitaires de l'ONU ; et Secrétariat de la Décennie IDNDR, à Genève,
- UNESCO, pour les programmes sur les risques naturels, le MAB et le PHI, à Paris,
- Commission Européenne pour le Programme ECHO, à Bruxelles,
- Conseil de l'Europe – Programme EUR-OPA, à Strasbourg,
- OMM (Organisation Météorologique Mondiale) pour les programmes climat/sécheresse, à Genève.

On se borne dans ce qui suit à une liste de titres plus particulièrement accessibles ; mais il est important de savoir que l'ensemble des travaux sur les risques – et spécialement les risques méditerranéens – représente une bibliographie extrêmement riche qui ne peut être donnée ici.

Général : stratégies de gestion du risque

- Cuny F., (1983), *Disasters and Development*, Oxford University Press, New York/Oxford.
- Krewsky, Birkwood (1986), *Approches formalisées de l'évaluation et de la gestion du risque*, OCDE, Paris.
- Lagadec, (1980), *L'action en situation de crise dans la « Société Vulnérable »*, Ministère de l'environnement, Paris.
- Ministère de l'Environnement, (1986), *Les Plans d'Exposition aux Risques*, Paris.
- Münchener Rückversicherungs Gesellschaft (1998), *Carte universelle des risques naturels*, Munich.
- SCOPE/ICSU (1980), *Environmental Risk Assessment*, Canada Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Canada.
- Theys J., (1980), « La Société Vulnérable », Publication Ministère de l'Environnement, Paris.
- Tribouillois J., (1990), *Check to disaster ? Séminaire UATI-FMOI*, Paris.
- UNDRO, (1979), *Prévention et atténuation des catastrophes, aspects économiques*, Genève.
- UNDRO, (1991) *Mitigating Natural Disasters – Phenomena, Effects and Options – A manual for policy makers*. United Nations, New York.

Risque sismique et volcanique

- Absi E., (1995), *Précis de génie para-sismique*, UATI/UNESCO, Paris.
- AFESD, (1983), *Assessment and mitigation of earthquake risk in the Arab region*, UNESCO/AFESD/IDB.
- Alsan *et al.*, (1976), *An earthquake catalogue for Turkey in the interval 1913-1970*, Tectonophysics, 31.
- Ambraseys N., (1978) *Seismicity in the Arab Region in « Assessment and mitigation of earthquake risk in the Arab Region »* – UNESCO, Paris.
- Belazougui, (1997), *Rapport sur les risques sismiques en Algérie. Séminaire SIDMED*, UATI, Paris
- Ben Blidia M. *et al.*, *Vulnérabilité et évaluation du risque sismique en Algérie. SEISMED Workshop II*, UNDRO/UNDP-OPS, New York.

- Ben Hamida H. & Najjar Y., (1990), État et comportement des constructions en maçonnerie à la suite du séisme de Metlaoui. SEISMED Workshop II, UNDRO/UNDP-OPS, New York.
- Bensari D., (1980), Sismicité du Maroc. Publications CNCPRST, Rabat.
- Davidovici *et al.*, (1980), Génie Parasismique, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- Durville, (1980), Simulation de l'action d'un séisme à l'échelle d'une ville, Publications du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.
- El Nashai *et al.*, (1994), Le risque sismique en Égypte – ICE Report – WFEO & UATI, Paris.
- E.P.P.O., (1990), Rapport sur le risque sismique en Grèce – EUR-OPA-Conseil de l'Europe, Strasbourg.
- Giardini, (1993), Global Seismic Hazard Assessment Program, Anali di Geofisica, Istituto Nazionale di Geofisica, Rome.
- Jones, Barclay G. Tomazevic M., (1982), Social and Economic Aspects of Earthquakes (Proceedings of the third international Conference) Bled, Yugoslavia, Cornell University, Ithaca NY.
- Madariaga, (1990), Les tremblements de terre, IPG, Paris.
- Makropoulos K., (1990), A review of seismic hazard studies in Greece. SEISMED Workshop I, UNDRO/UNDP-OPS, New York.
- Petrini V., (1997), Prévention du risque sismique – Séminaire SIDMED – UATI, Paris.
- Petrovski J., (1983), Engineering measures for earthquake risk reduction in the Arab countries, in « Assessment and mitigation of earthquake risk in the Arab Region », UNESCO, Paris.
- Rothé J.P., (1969), La sismicité du globe 1953-1965, Série Sciences de la Terre, n° 1, UNESCO, Paris.
- Scarpa R. & Tilling R., (1996), Monitoring and mitigation of Volcano Hazards, Springer, Berlin/heidelberg.
- Souhlal, (1990), Concept de la ville anti-sismique – Check to Disasters, UATI, Paris.
- Swiss Re, (1991), Catalogue of earthquakes and volcanic eruptions – Swiss Reinsurance Company – Zurich.
- UNDRO/PNUD, (1993), Cooperative project for seismic risk reduction in the Mediterranean region (SEISMED), 4 volumes, UNDRO, Genève, UNDP-OPS, New York.
- UNDRO/UNESCO, (1985), Volcanic emergency management, UNDRO/UNESCO, Genève.
- UNESCO (1972), The surveillance and prediction of volcanic activity, Earth Sciences Series n° 8, UNESCO, Paris.
- UNESCO, (1982), Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region, Final Report, UNESCO, Paris.
- United Nations, New York, (1973), Low cost construction resistant to earthquake, Department of Economic and Social Affairs.
- Weber C., (1990), Sismicité en Méditerranée, Publications BRGM, Paris.
- WFEO and UATI, (1995), Structures to withstand disasters, ICE Report.
- Winchester P., (1987), Middle East and Mediterranean Regional Conference on Earthen and Low Strength Masonry Buildings in Seismic Areas, Middle East Technical University, Ankara.

Risque d'inondation et glissement de terrain

- Bocquillon, Masson & Onsoy, (1980), Calcul des lames d'eau à partir des relevés pluviométriques ponctuels. Méthode MTH, La Météorologie, Paris.
- Durville, (1985), Publications du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.
- Ghetti A. & Batisse M., (1986), La protection d'ensemble de Venise et de sa lagune, Nature et Ressources XIX, 4, UNESCO, Paris.
- Ramade F., (1987), Les catastrophes écologiques, McGraw Hill/Ediscience International, Paris.
- Swiss Re, (1995), The force of water – Swiss Reinsurance Company – Zurich.
- UNESCO, (1976), World Catalogue of very large floods, UNESCO, Paris.

- Verstappen J., (1990), Flood susceptibility surveys/Applied geomorphology. ITC, Enschede, The Netherlands.
- WMO, (1969), Estimation of maximum floods, WMO Technical Note 28, Geneva.
- World Data Center A for Solid Earth Geophysics (1985). Earthquake Catalogue for the Middle East Countries – National Geophysical Data Center, Boulder, USA.

Risque sécheresse, feux de forêt et désertification

- Giorgi, Marinucci and Visconti, (1992), A 2xCO₂ climate change scenario over Europe, J. Geophys. Research 97.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évaluation du climat (1996), Techniques, politiques et mesures d'atténuation des risques climatiques, OMM/PNU.
- Hétier, J.P., (1994), La forêt méditerranéenne face aux incendies : un bilan contrasté – Aménagement et Nature, vol. 115.
- Houghton *et al.*, (1990), Climate change : the IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press.
- Houghton, Callander & Varney, (1992), The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press.
- Jeftic L., Keckes S. & Pernetta, (1996), Climatic change in the Mediterranean, UNEP.
- Margat J., (1992), L'eau dans le bassin méditerranéen : situation et prospective, Les fascicules du Plan Bleu, n° 6, Économica, Paris.
- National Science Board, (1972), Drought, The Causes and Nature of Drought and its prediction, US National Science Foundation, Washington, D.C.
- OMM (1970), Drought and Agriculture.
- Palutikov, Guo, Xigley & Gregory, (1992), Regional changes in climate in the Mediterranean Basin due to global greenhouse warming, MAP Mediterranean Action Plan, UNEP, Athens.
- Palutikov, Goodess & Guo, (1994), Climate change, potential evapotranspiration and moisture availability in the Mediterranean Basin, MAP, UNEP, Athens.
- Plan Bleu, (1997), L'eau en région méditerranéenne : situations, perspectives et stratégies pour une gestion durable de la ressource, Sophia Antipolis.
- Ramade F., (1997), Conservation des écosystèmes méditerranéens : enjeux et prospective. Les Fascicules du Plan Bleu, n° 3, Économica, Paris.
- Riou Ch. (1996), Aridité climatique et édaphique et désertification. C.R. Agric. 82, n° 8, Paris.
- Wilson & Mitchell, (1987), Simulated climate and CO₂ induced climate change over western Europe : Climatic change, 10.

ANNEXE 2

Quelques adresses utiles

I. Information générale

Agence Spatiale Européenne (ESA)

8, rue Mario Nikis

75015 Paris

Tél. : 01 53 69 76 54 – Fax : 01 42 73 75 60

Commission des Communautés Européennes

DG XII

200, rue de la Loi

Bruxelles

Tél. : (32-2) 295 36 98/296 29 26 – Fax : (32-2) 296 32 52

Conseil de l'Europe

Accord EUR-OPA

F 67075 Strasbourg Cedex

Tél. : 03 88 41 26 14 – Fax : 03 88 41 27 87

Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU)

51, Boulevard de Montmorency

75016 Paris

Tél. : 01 45 25 03 29 – Fax : 01 42 88 94 31

Département des Affaires Humanitaires des Nations Unies
(UNDHA)

Palais des Nations

CH 1211 Genève 10

Tél. : (41-22) 917 1234 – Fax : (41-22) 917 0023

F.A.O. (Food and Agriculture Organization)

Via delle Terme di Caracalla

00100 Rome

Tél. : (39) 65 75 71 01/65 78 14 14 – Fax : (39) 65 25 31 52

International Centre For Sciences and High Technology (ICS-UNIDO)

Via Grignano, 9

34014 Trieste

Tél. : (39) 40 22 45 72 – Fax : (39) 40 22 45 75

MEDIAS (France)

c/o CNES – BP 2102

18, avenue Edouard Belin

31055 Toulouse Cedex

Tél. : 05 61 26 27

OCDE

2, rue André Pascal

75016 Paris

Tél. : 01 45 24 82 00 – Fax : 01 45 24 85 00

Organisation Météorologique Mondiale

41, Avenue Guiseppe Motta

Case Postale 2300

CH 1211 Genève

Tél. : (41-22) 730 8478 – Fax : (41-22) 734 2326

Organisation Mondiale de la Santé

20, avenue Appia
1202 Genève
Tél. : (41-22) 791 2111 – Fax : (41-22) 791 0746

Programme des Nations Unies pour le Développement

Geneva Executive Center
11-13 Chemin des Aménones
1219 Genève
Tél. : (41-22) 979 9111 – Fax : (41-22) 979 9018

Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Bureau Industrie et Environnement
36-43 Quai André Citroën
75015 Paris
Tél. : 01 44 37 14 50 – Fax : 01 44 37 14 74

UNDHA Reference Library

Palais des Nations
CH 1211 Genève 10
Tél. : (41-22) 734 6011 – Fax : (41-22) 733 5623

UNESCO

Secteur des Sciences
1, rue Miollis
75732 Paris Cedex 15
Tél. : 01 45 68 10 00 – Fax : 01 45 67 16 90

Union des Associations Techniques Internationales (UATI)

c/o UNESCO
1, rue Miollis
75015 Paris
Tél. : 01 45 68 27 50 – Fax : 01 43 06 29 27

Union Internationale des Télécommunications (UIT/ITU)

1, Place des Nations
Case Postale 1211
Genève 20, 1202
Tél. : (41-22) 730 5111 – Fax : (41-22) 733 7256

Universités Méditerranéennes

UNIMED
Palazzo Balenani
Corso Vittorio-Emmanuel, 244
00186 Rome
Tél. : (39-6) 49 91 86 28/85 83 – Fax : (39-6) 49 91 85 82

World Federation of Engineering Organizations (WFEO)

1-3 Birdcage Walk
Londres SW 1 H 9 JH
Tél. : (44-171) 222 7512/7899 – Fax : (44-171) 222 0812

II. Risques sismiques et glissement de terrain

International

Association Internationale d'Ingénierie Géologique (IAEG)

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

58, Boulevard Lefebvre

75732 Paris Cedex 15

Tél. : 01 40 43 50 00 – Fax : 01 40 43 54 98

Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (AIPCR/PIARC)

La Grande Arche – Paroi Nord Niveau 1

92055 Paris la Défense Cedex 04

Tél. : 01 40 43 50 28 – Fax : 01 40 43 54 92

RELEMR (Reduction of Earthquake Losses in the Eastern Mediterranean Region)

UNESCO

Secteur des Sciences

1, rue Miollis

75015 Paris

Tél. : 01 45 68 41 15 – Fax : 01 43 06 11 22

Algérie

Centre National de Recherche appliquée en génie parasismique

Rue Kaddour Brahim

B.P. 52

Hussein-Dey

Alger

Tél. : (213-2) 77 66 73/59 60 61 – Fax : (213-2) 77 66 56

Bosnie & Herzégovine

Institut Hydrométéorologique

Hadži Loje 8

71000 Sarajevo

Chypre

Geological Survey Department of Cyprus

Nicosia 1415

Tél. : (3572) 309 260 – Fax : (3572) 316 873

Croatie

Geophysical Institute

University of Zagreb

41001 Gric 3

Zagreb

Égypte

Egyptian Geological Survey and Mining Authority

3, Salah Salem Street-Abbassiya

Le Caire

Tél. : (202) 282 80 40 – Fax : (202) 482 01 28

National Research Institute for Astronomy and Geophysics

Seismology Division

Le Caire

Tél. : (202) 554 11 00/78 66 67 – Fax : (202) 782 683

National Research Institute for Astronomy and Geophysics
Helwan
Cairo
Tél. : (202) 780 645 – Fax : (202) 782 683

Espagne

Instituto Geografico Nacional
General Ibanez de Ibero, 3
28003 Madrid

Universidad Complutense de Madrid
Department de Géophysique
Ciudad Universitaria
28040 Madrid

France

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
11, rue Henri Picherit, B.P.82341
44323 Nantes Cedex 03
Tél. : 02 40 37 20 00 – Fax : 02 40 37 20 60

Direction de la Prévention des Risques (DPPR-SDRM)
Ministère de l'Environnement
20, avenue de Ségur
75007 Paris
Tél. : 01 42 19 20 21 – Fax : 01 42 19 14 79

Association Française du Génie Parasismique (AFPS)
4, avenue du Recteur Poincaré
75016 Paris
Tél. : 01 40 50 28 34 – Fax : 01 45 25 61 51

Institut Physique du Globe (IPG)
Université de Paris VI
Place de Jussieu
75005 Paris
Tél. : 01 44 27 39 04 – Fax : 01 44 27 24 01

Centre sismique euro-méditerranéen (CSEM)
Laboratoire de Géophysique du CEA
BP 12
91680 Bruyères le Chatel
Tél. : 01 69 26 40 00 – Fax : 01 69 26 70 23

Bureau de Recherches Géologiques et Minières
73000 Technopole de Chambéry
Tél. : 04 79 25 31 32 – Fax : 04 79 25 31 30

Grèce

Geodynamic Institute/National Observatory of Athens
P.O. Box 20048
11810 Athènes
Tél. : (301) 346 31 73 – Fax : (301) 342 60 05

Earthquake Planning and Protection Organization (EPPO)
32, Centre Xanthu Street
15451 N Athènes
Tél. : (301) 67 25 233 – Fax : (301) 67 79 561

Israël

Institute for Petroleum Research and Geophysics
POB 2286
58122 Holon
Tél. : (972.3) 805 112 – Fax : (972.3) 802 925

Geological Survey of Israel
30 Malkei Yisrael St.
95501 Jerusalem
Tél. : (972.2) 314 258 – Fax : (972.2) 380 688

Italie

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)
Istituto di ricerche sul rischio sismico
20131 Via Ampere 56
Milan
Tél. : (39-2) 70 64 36 24 – Fax : (39-2) 26 68 09 87

Istituto Nazionale di Geofisica
Via di Vigne Mureta, 605
10143 Rome
Tél. : (396-51) 860 487

Natural Extreme Events Division
Energy and Environment Agency
Viale Anguillazese 301
00060 Maria di Galeria
Rome
Tél. : 06 30481

Servizio Sismico Nazionale
Ministerio dei Lavori Public
Via Nomentana, 2
00161 Rome

Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia
Univesita Federiciana
Largo San Marcellino 10
80138 Naples
Tél. : (39-81) 580 31 18

Liban

Centre de recherche géophysique
Conseil National pour la Recherche Scientifique
POB 16-5783
Beyrouth

Maroc

Centre National de Coordination et Programmation de la Recherche Scientifique et Technique
(CNCPRST)
Rabat
Tél. : (212-7) 77 24 52 – Fax : (212-7) 77 12 88

Tunisie

Association Tunisienne du Génie Para-Sismique (ATPS)
c/o École Nationale d'Ingénieurs de Tunis
2035 Tunis
Tél. : (216-1) 514 700 – Fax : (216-1) 510 729

Office National de la Protection Civile
Tunisie

Turquie

Kandili Observatory and Earthquake Research Institute
81-220 Cengelhoy
Istanbul
Tél. : (90-216) 332 65 60 – Fax : (90-216) 308 01 63

Département de recherche sur les tremblements de terre
Eskisehir Yolu 10 km
Lodumlu Mevkii
Ankara
Tél. : (90.4) 287 36 45 – Fax : (90.4) 287 89 24

General Directorate of Disaster Affairs
Ministry of Public Works and Settlements
Ankara 06520
Tél. : 90.312.2878945 – Fax : 90.312.2878924

III. Pour l'hydrometeorologie (crues et sécheresse)**International**

Conseil Mondial de l'Eau (CME/WWC)
Dock de la Joliette
Atrium 103
10, Place de la Joliette
13304 Marseille Cedex 2
Tél. : 04 91 99 41 00 – Fax : 04 01 00 41 01

Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS)
c/o UNESCO
1, rue Miollis
75015 Paris
Tél. : 01 45 68 28 76 – Fax : 01 45 67 26 86

Albanie

Institut Hydrométéorologique
Académie des Sciences
Kongresi I Permetit 26
Tirana

Algérie

Office National de Météorologique
119, rue Didouche Mourad
16000 Alger
Tél. : (213-2) 274 76 14 – Fax : (213-2) 274 76 14

Croatie

Institut Hydrométéorologique
Gric 3
41103 Zagreb

Égypte

Service Météorologique
P.O. Box 11784
Le Caire
Tél. : (202) 830 105/053/069 – Fax : (202) 284 98 57

Espagne

Instituto Nacional de Meteorologia
Apartado 285
Ciudad Universitaria
Madrid 28040
Tél. : (34-1) 581 9630 – Fax : (34-1) 581 98 45

France

Service Météorologique Météo-France
1, quai Branly
75340 Paris Cedex 07
Tél. : 01 45 56 71 71 – Fax : 01 45 56 70 05

Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement
Parc Scientifique Agropolis
34397 Montpellier Cedex 5
Tél. : 05 67 63 65 00 – Fax : 05 67 63 03 66

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
147, rue de l'Université
75007 Paris
Tél. : 01 42 75 90 00 – Fax : 01 45 05 99 66

« Surveillance des acridiens au Sahel »
CIRAD – GERDAD – PRIFAS
B.P. 5035
34032 Montpellier Cedex
Tél. : 05 67 51 58 00 – Fax : 05 67 41 09 58

Grèce

Hellenic National Meteorological Service
POB 73502, El Venizelou 14
16777 Hellenikon-Athènes
Tél. : (30-1) 96 29 415

Israël

Meteorological Service
POB 25
Bet Dagan 50250
Tél. : (972-03) 968 2116

Italie

Service Météorologique
Aeronautica Militare
Piazzale degli Archivi, 34
I-00144 Rome
Tél. : (39-6) 59 96 – Poste 315/4986 – Poste 5265 – Fax : (39-6) 592 476

Liban

Service de la Météorologie
Aéroport International de Beyrouth
Tél. : (961-1) 81 61 75

Libye

Meteorological Department
P.O. Box 5069
Tripoli
Tél. : (218-21) 444 01 06/360 37 90 – Fax : (218-21) 444 01 06/360 55 33

Malte

Meteorological Office
Luga Airport
Tél. : (356) 249 170 – Ext. 308

Maroc

Direction de la météorologie nationale
B.P. 8106 CASA-OASIS
Aéroport CASA-ANFA
Casablanca 20103
Tél. (212-2) 20 00 67/68/69/72/73 – Fax : (212-2) 20 00 71/63

Slovénie

Institut Hydrométéorologique
Vijkovba 1 b
POB 49
61001 Ljubljana

Syrie

Service Météorologique de Syrie
Mazzeah Jabal
P.O. Box 4211
Damas
Tél. : (963-11) 662 2347

Tunisie

Institut national de météorologie
B.P. 156
2035 Tunis Carthage
Tél. : (216-1) 782 400 – Fax : (216-1) 784 608

Turquie

Service Météorologique
P.O. Box 401
Ankara
Tél. : (90-312) 359 75 45 – Fax : (90-312) 359 34 40

Yougoslavie

Hydrometeorological Institute
Bircaninova 6
POB 604
11001 Belgrade

ANNEXE 3

Les scénarios originels du Plan Bleu

Les scénarios du Plan Bleu ont été élaborés pour étudier les relations à moyen et long terme (horizons 2000 et 2025) entre divers types de développement et l'environnement méditerranéen. Les composantes de l'environnement retenues sont les forêts, les sols, les eaux (ces trois composantes étant en fait étroitement liées dans les écosystèmes), le littoral et la mer. Les secteurs de développement pris en compte sont l'agriculture – ou plus précisément l'agro-alimentaire – l'industrie, l'énergie, le tourisme et les transports. Pour définir les scénarios, les hypothèses génériques ont porté sur le contexte (économique et technique) international, l'évolution des populations, les stratégies nationales de développement, la gestion de l'espace et les politiques de l'environnement.

Tous ces éléments ont conduit à distinguer deux types de scénarios :

- *les scénarios tendanciels* : ils décrivent des évolutions qui ne marquent pas de fortes ruptures par rapport aux tendances des stratégies de développement établies jusqu'à maintenant ;
- *scénarios alternatifs* : ils décrivent au contraire des évolutions qui s'écartent des tendances observées jusqu'à maintenant, et qui sont marquées par une attitude plus volontariste, tant sur le plan intérieur qu'international, de la part des gouvernements méditerranéens.

Les scénarios tendanciels

Le moteur économique des scénarios tendanciels est l'expansion d'un marché international qui demeure marqué par une prépondérance économique (et technologique) américano-nipponne. Dans ce contexte, et que ce soit au point de vue politique, économique, culturel, etc., l'Europe n'arrive pas à s'affirmer autant qu'elle le voudrait. De même en Méditerranée, les pays individuellement s'accommodent plus ou moins bien, au Nord comme au Sud, de cette prépondérance du binôme États-Unis/Asie de l'Est.

Dans ces conditions, il est apparu nécessaire de distinguer trois scénarios tendanciels qui diffèrent l'un de l'autre selon que le schéma ci-dessus est plus ou moins poussé, le *scénario tendanciel de référence T-1* de « continuation » des tendances actuelles, qui se situe entre deux autres scénarios relativement contrastés. Dans le *scénario tendanciel aggravé T-2*, la croissance économique internationale continue à rester faible, en particulier parce que les partenaires dominants de l'économie mondiale n'arrivent pas à coordonner leurs politiques dans les domaines politiques, financiers et macro-économiques. Il en résulte notamment que le problème de la dette du Tiers Monde reste aigu. Dans le *scénario tendanciel modéré T-3*, au contraire, une meilleure coordination des politiques économiques entre la Communauté européenne, les États-Unis et le Japon permet une croissance économique relativement soutenue.

En ce qui concerne l'environnement, les trois scénarios tendanciels amènent à moduler les efforts des gouvernements en fonction des potentialités économiques, plus grandes dans le tendanciel modéré T-3 que dans le tendanciel aggravé T-2. Alors que dans ce dernier scénario dominant les actions ponctuelles, souvent dictées par l'urgence, on trouve dans le scénario tendanciel modéré T-3 une certaine vision à long terme, bien qu'insuffisamment coordonnée, et des actions fréquemment décidées avec retard, et en conséquence d'autant plus coûteuses.

Pour certains aspects de l'exercice, on a souvent conservé seulement les deux scénarios extrêmes, les tendanciels aggravé T-2 et modéré T-3, le scénario tendanciel de référence T-1 apparaissant alors comme une situation intermédiaire ou moyenne entre les deux autres.

Les scénarios alternatifs

La principale caractéristique des scénarios alternatifs est un plus grand poids des pays méditerranéens, permis par la formation d'une structure mondiale multipolaire, où s'affirment

l'Europe occidentale, les États-Unis, le Japon et peut-être un ou deux autres pays ou groupes de pays. En particulier existe une Europe politique plus présente, encore que jouant un rôle différent dans les deux scénarios.

Les deux scénarios alternatifs choisis ont été essentiellement différenciés par les relations qui s'établissent entre les pays du bassin méditerranéen, à savoir :

– pour le *scénario alternatif de référence A-1*, une conception « méditerranéenne » des relations entre riverains, les pays de la Communauté européenne et les autres pays de la Méditerranée, qu'ils soient fortement industrialisés ou en cours d'industrialisation, s'efforçant de constituer tous ensemble une zone de développement harmonieuse avec une ouverture optimale de leurs échanges et des flux migratoires convenus entre eux. Dans ce scénario alternatif de référence les échanges méditerranéens sont orientés en majeure partie Nord-Sud, la Communauté européenne ayant un certain rôle d'« entraînement » ;

– pour le *scénario alternatif avec agrégation A-2*, une conception plus « régionale » de ces relations, la coopération économique concernant préférentiellement des groupes de pays, un exemple les pays de la Communauté européenne élargie, les pays du Maghreb, l'Orient arabe, etc., avec ouverture maximale des échanges et des migrations au sein de ces groupes, mais maintien de certaines barrières entre ces mêmes groupes, certains pays souhaitant se protéger partiellement des influences internationales. Dans ce scénario A-2, le rôle de la Communauté européenne est moins marqué et les pays riverains non membres de la Communauté européenne parviennent à se constituer en sous-ensemble relativement intégré.

Les stratégies de développement dans les scénarios alternatifs peuvent être dites « auto-centrées », ce terme étant ici entendu comme la recherche d'une complémentarité entre le développement d'un secteur « moderne », inspiré par celui des sociétés industrialisées avancées, et le développement au sein des sociétés urbaines de petites et moyennes entreprises, formelles ou informelles. Ceci est d'ailleurs plus facile dans le scénario alternatif de référence A-2, l'agrégation permettant une meilleure planification et des marchés plus larges.

Les deux scénarios alternatifs supposent une plus grande mobilisation des ressources méditerranéennes, dans le cadre d'une « géographie des productions » plus volontariste, et une lutte accrue contre le gaspillage ou la dégradation de ces ressources – tous domaines où l'innovation a un grand rôle à jouer – ainsi qu'un accroissement à terme des échanges intraéditerranéens.

Dans les scénarios alternatifs, les politiques de l'environnement et de l'aménagement du territoire sont mieux internalisées dans la prise de décision et dans les plans de développement. Par exemple, la préférence est systématiquement donnée aux procédés de fabrication peu polluants, aux processus biologiques, aux méthodes économes en eau pour l'irrigation. L'approche est également beaucoup plus « systémique » que mécanique ou sectorielle, visant à une planification intégrée du développement et de l'environnement.

Index

A

Agadir 13
Agriculture 83, 116
Aléa XV, 2, 41, 44, 46
Alep 13
Alerte 56, 62, 63
Architecture 40, 58, 103, 107
Aridité 17, 19, 67, 68, 72, 76
Assistance médicale 112
Assurance XVII, 85, 113, 114, 115, 116,
117, 142
Avalanches 65, 66

B

Beyrouth 13
Biescas 15, 54
Bombe météorologique 101, 106

C

Camping 54, 62
Chaînage 3, 102, 108, 110, 133
Chemins critiques 118, 119
Climat naturel 68, 70, 71, 72, 124
Climat futur 73, 74, 126, 127
Codes 32, 38, 45, 46, 103, 107
Communication 5, 98, 99
Corps techniques 23, 90
Crues torrentielles 15, 49, 52, 54, 58, 59,
106
Criquets 17, 79, 80
Cyclones 19, 101

D

Damas 13
Déboisement XVI, 17, 52, 76, 83
Décentralisation 92
Défense civile 4, 23, 91, 93, 128
Démographie XII, 124
Désertification 3, 75, 78, 84
Doppler 60, 133
Droit 58, 93, 128

E

Échelles 10, 35, 36, 126
Éducation 5, 94, 95, 128, 142
Effet de serre 4, 6, 25, 28, 73, 125
El Asnam 1, 13, 44, 118
Érosion XVI, 83, 100
Erzincan 13
Évaporation 50, 75, 76, 77, 83, 84

F

Feux de forêt 66, 76, 80, 81, 82
Florence 2, 11
Formation 93, 96, 97, 142

G

Génie parasismique 45, 107
Géotectonique 3, 12, 13, 130, 132
Glissements de terrain 15, 49, 63, 64, 65
Glossaire 7, 142
GPS 44, 49, 130, 133

H

Histoire 2, 9, 17

I

Informatique 130, 136
Inondations 2, 16, 49, 62, 114
Intervention 91, 111, 143
Irrigation 28, 67, 76, 77, 83

L

Le Caire 11, 13, 38, 41, 42, 43, 101
Loi 93, 116

M

Médias 21, 22, 95
Messine 1, 35
Metlaoui 108, 110
Modèles 59, 74, 82, 106, 130, 131, 132, 140

N

Nîmes 50, 54, 57, 58, 61, 62, 101
Niveau de la mer 74, 75

O

Observatoire 140, 141
Ourika 1, 15, 54

P

Perception XVII, 18, 21, 22
Plan d'occupation des sols (POS) 56, 103
Plaques XV, 3, 10, 32, 33, 35, 42
Pluie provoquée 83, 96, 134, 135
Pouzzoles 47, 48
PPR 116
Précipitations 51, 55, 61, 64, 65
Prévention 58, 100
Prévision 3, 44, 59, 61, 65, 104, 105, 130, 131
PSS 57

R

Radar 59, 60, 101, 105
Réhabilitation 22, 112, 118
Réseaux 7, 23, 38, 57, 59, 102, 104, 105, 128, 136, 143
Ressources humaines 5, 87, 89
Retour d'expérience 31, 92, 101
Risques anthropiques XVI, 2, 18, 25, 26, 89
Risques hydrométéorologiques 19, 49, 50, 58, 104
Risques sismiques 32, 43, 105
Risques urbains 24, 102, 103
Ruissellement 52, 54, 57, 58, 61

S

Santé XVI, 17, 18
Santorin 10, 35, 47
Satellites 60, 62, 105, 112, 129, 130
Sécheresse 3, 6, 19, 66, 72, 75, 79, 80, 83, 100, 119, 120, 133
Sentinelle 103
Sfax 50, 51, 101
SIG 64, 82
Skopje 13, 38, 39, 40, 107
Solidarité 85, 115
Surpâturage XVI, 76

T

Télé-médecine 25, 112
Tendancielles 27, 28
Tourisme 15, 26, 89, 124
Tsunami 10, 35

V

Vaison-la-Romaine 15, 54, 55, 58, 62
Venise 11, 75
Vents 70, 71, 73
Vésuve 10, 47, 48, 49
Volcans 19, 31, 47, 48, 49
Vulnérabilité XV, 2, 3, 38, 118, 123

Z

Zonage XVII, 36, 37, 44, 64, 103, 115, 118

Les fascicules du Plan Bleu

sous la direction de Michel Batisse

10

LES RISQUES NATURELS EN MÉDITERRANÉE

Situation et perspectives

par Adelin Villevieille et al.

Les pays méditerranéens, au Nord comme au Sud, connaissent actuellement de rapides changements démographiques, sociaux, culturels, économiques et écologiques. Où mènent ces changements ? Que sera l'avenir des pays méditerranéens ? Comment doivent-ils agir individuellement et collectivement, pour faire face à leurs difficultés croissantes ? L'objet du Plan Bleu – publié par *Économica* – est de tenter de répondre à ces questions, selon un jeu de « scénarios » prospectifs jusqu'à l'horizon 2025 portant sur l'ensemble des secteurs économiques et des milieux géographiques, ainsi que par l'observation et l'évaluation des rapports entre environnement et développement.

En se fondant sur ces travaux et sur l'expérience acquise il a paru opportun de creuser plus avant la problématique et l'évolution de chaque secteur et de chaque milieu en région méditerranéenne. Tel est l'objet des Fascicules du Plan Bleu, qui peuvent être lus indépendamment de l'ouvrage principal dont ils utilisent la partie prospective et actualisent ou complètent les données.

Le présent fascicule porte sur un sujet qui n'a pas été jusqu'ici directement traité dans les travaux prospectifs du Plan Bleu mais qui présente en Méditerranée une importance scientifique, économique et humaine considérable. On y analyse la situation présente et les perspectives en matière de séismes, d'éruptions volcaniques, d'inondations, de glissements de terrain, de changement climatique, de sécheresses et de feux de forêt.

*

* *

Adelin VILLEVIEILLE, auteur principal de ce fascicule auquel ont coopéré un certain nombre d'experts méditerranéens, a assumé les fonctions de Directeur de la Délégation aux risques majeurs en France. Il a été Président de la Commission des sciences de l'atmosphère de l'Organisation Météorologique Mondiale. Il coordonne actuellement les initiatives de l'Union des Associations Techniques Internationales en faveur de la Décennie Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles de l'ONU.

Michel BATISSE, a consacré la plupart de sa carrière internationale à l'environnement et aux ressources naturelles. Il a notamment organisé la Décennie hydrologique internationale et le Programme de recherche sur l'Homme et la Biosphère (MAB) avec son réseau mondial de réserves de biosphère. Ancien Sous-Directeur général (Sciences) de l'UNESCO, il préside le Centre d'Activités Régionales du Plan Bleu pour la Méditerranée depuis sa création en 1985.

