

# Scénario de Crise Sismique

Valorisation des Scénarios Départementaux de Risque Sismique

Définition d'un avant projet

**BRGM/RP-54482-FR**  
Avril 2006



# Scénario de crise sismique

Valorisation des scénarios départementaux de risque  
sismique

Définition d'un avant projet

**BRGM/RP-54482-FR**

Avril 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2006 PSP05ARN47

**O. Sedan, F. De Martin, P. Roussillon**

**Vérificateur :**

Original signé par  
Nom : T. WINTER

**Approbateur :**

Original signé par  
Nom : H. MODARESSI

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : Scénario, risque sismique, crise, vulnérabilité, classification enjeux, réseaux, bâtiment D, séisme de scénario, séisme de référence, gestion crise

## Synthèse

Le Ministère de l'Intérieur est chargé, dans le cadre du « Plan Séisme », de la réalisation de Scénarios de Crise Sismique. Ces scénarios permettront d'organiser des exercices réalistes dans les zones II et III du zonage sismique national. Outre la préparation des acteurs à affronter la catastrophe, les exercices sensibiliseront la population au risque sismique.

Par ailleurs, toujours dans le cadre du Plan Séisme, le Gouvernement a mis en œuvre la réalisation de Scénarios Départementaux de Risque Sismique (SDRS) destinés principalement à hiérarchiser le risque au niveau des communes, pour définir des priorités de prescription de Plan de Prévention des Risques. Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable a en charge leur réalisation. Ces scénarios de risque conduisent à évaluer les dommages aux biens et aux personnes à l'échelle d'un département, pour différents séismes de scénario. Il est clair que cette évaluation est une des composantes essentielles d'un Scénario de Crise.

Par ailleurs, certains moyens et méthodes mis en œuvre pour réaliser des scénarios de risques peuvent être exploités avec profit pour les scénarios de crise.

Le BRGM réalisant pour le compte du MEDD l'étude destinée à définir la méthodologie de réalisation d'un scénario départemental de risque, il est apparu judicieux au Ministère de l'Intérieur de lui demander de participer à une réflexion sur la réalisation de scénarios de crise.

Cette réflexion, objet de ce rapport, porte sur plusieurs points :

- Quels enjeux spécifiques, non traités dans le cadre des SDRS, doivent être pris en compte dans un scénario de crise ?
- Avec quelle résolution faut-il analyser leur vulnérabilité ?
- Quel effort sur les méthodes d'évaluation de dommage et de dysfonctionnement faut-il mener ? notamment sur les réseaux ?
- Faut-il traiter des effets indirects (« sur accidents » : incendie, explosion, etc.) ?
- Compte tenu des réponses aux points précédents, quels seraient les développements nécessaires du logiciel de simulation utilisé pour les scénarios de risque (ARMAGEDOM ©BRGM. Cf. Annexe 1 : Présentation d'Armagedom) ?
- Sous quelles formes restituer les résultats d'un scénario de crise pour l'exploiter au mieux ?

Ce dernier point a plus particulièrement guidé la réflexion commune (MI, BRGM) sur la nature des « livrables » qui peuvent être proposés :

- ✓ Le premier est destiné à donner une vision stratégique globale, à l'échelle de la zone d'étude du scénario, du risque supporté par les éléments essentiels de la gestion de crise. Une hiérarchisation des bâtiments stratégiques et des réseaux est nécessaire, via une

typologie fonctionnelle des enjeux en période de crise et la prise en compte d'un niveau d'aléa sismique régional. Le niveau d'analyse de la vulnérabilité d'un enjeu est fonction de son importance. Nous proposons deux méthodes d'analyse de vulnérabilité. La première, probabiliste, permet d'étudier assez rapidement les enjeux les moins stratégiques. La seconde, déterministe, peut se baser sur une modélisation numérique des bâtiments hautement stratégiques pour évaluer leur réponse sous sollicitation sismique.

- ✓ Le second a pour but de mettre à disposition les éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un exercice réaliste de gestion de crise. Plusieurs types d'exercices peuvent être réalisés : de l'exercice d'état-major aux exercices mobilisant des moyens de terrains et incluant une participation de la population. Pour ce faire, il est proposé de compléter une simulation basée sur un séisme de scénario plausible réalisé dans le cadre des SDRS en leurs superposant des dommages de bâtiments stratégiques et des dysfonctionnements réseaux. Ces informations d'évaluation et de répartition de dommage pourront alors être utilisées par le Ministère de l'Intérieur pour bâtir l'exercice.
- ✓ Le troisième est destiné à mettre à disposition, dans le cadre d'un plan Orsec Séisme, les éléments permettant d'avoir une première estimation, dès que les caractéristiques du séisme sont disponibles, du niveau de dommage et de disfonctionnement d'enjeux clefs. On propose d'élaborer une base de données d'abaques répertoriant les degrés de dommages des bâtiments stratégiques en fonction d'un panel de séismes de références. Ces abaques doivent être de lecture rapide et aisée.

Ces livrables, couplés aux Scénarios Départementaux de Risque Sismique – vision cartographique des points stratégiques faibles, évaluation des dommages au bâti stratégique et au réseau, abaques de dommage – peuvent être in fine implémentés dans le logiciel Armagedom présenté en annexe 1. Armagedom traitant déjà en grande partie la vulnérabilité du bâti, nous nous sommes focalisé lors de cette étude préliminaire sur la vulnérabilité des réseaux. Les annexes 2 et 3 répertorient les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des réseaux qu'il est possible d'implémenter dans Armagedom.

# Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Mise en Oeuvre d'un Scénario de Crise Sismique .....</b>	<b>13</b>
2.1. PRELIMINAIRE : LA PRISE EN COMPTE DE L'AGRESSION SISMIQUE DANS LES SCENARIOS .....	13
2.2. PREMIERE COMPOSANTE : VISION STRATEGIQUE GLOBALE .....	14
2.2.1.Principe .....	14
2.2.2.Inventaire et Hiérarchisation.....	15
Bâtiments Stratégiques.....	15
Réseaux .....	18
2.2.3.Analyse de Vulnérabilité.....	18
Bâtiments Stratégiques.....	18
Réseaux .....	23
2.2.4.Type de restitution.....	24
2.3. DEUXIEME COMPOSANTE : EXERCICE DE GESTION DE CRISE .....	25
2.3.1.Principe .....	25
2.3.2.Construction de l'exercice .....	25
2.3.3.Réalisation de l'exercice.....	29
Exemple d'organigramme général .....	29
2.4. TROISIEME COMPOSANTE : ABAQUE DE DOMMAGE DES ORGANES DE GESTION CRISE 30	
2.4.1.Principe .....	30
2.4.2.Séismes de scénarios .....	30



2.4.3. Gestion de la base de données.....	31
<b>3. Conclusion.....</b>	<b>33</b>
<b>4. Annexe 1 Presentation d’Armagedom.....</b>	<b>35</b>
4.1. INTRODUCTION.....	37
4.2. ORGANIGRAMME.....	37
4.3. MODULE ENJEUX.....	47
4.4. MODELISATION DES PHENOMENES.....	49
4.5. MODULE DE LIQUEFACTION.....	52
4.6. MODULE IMPACT.....	55
4.7. AFFECTATION D’IMPACT.....	58
4.8. MODULE DE SIMULATION.....	59
4.9. RESTITUTION DES RESULTATS.....	60
<b>5. Annexe 2 Analyse de vulnérabilité des Systèmes de transport.....</b>	<b>64</b>
Les Chaussées.....	65
•Les Routes.....	65
•Les ponts.....	71
•Les Tunnels.....	75
Les Aéroports.....	78
•Piste de décollage.....	78
•Infrastructures et bâtiments.....	80
<b>6. Annexe 3 Analyse de vulnérabilité des Réseaux de Service.....</b>	<b>83</b>

Télécommunications.....	85
Electricité.....	89
•Centrale électrique.....	89
•Poste de distribution électrique.....	92
•Ligne de transmission et de distribution.....	96
Eau Potable.....	99
•Sources.....	99

**7. Bibliographie..... 103**

## Liste des Figures

Figure 2-1 Valeur représentative des Indices de vulnérabilité selon la typologie du bâti .....	19
Figure 2-2 Description des états de dommages D0 à D5. ....	20
Figure 2-3 Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie .....	21
Figure 2-4 Classification des dégâts aux bâtiment en béton armé .....	21
Figure 2-5 Exemple de bâtiment modélisé sous SAP2000 .....	22
Figure 2-6 Méthode de niveau N2+ : Etapes de la modélisation numérique d'un bâtiment et résultats obtenus .....	23
Figure 2-7 : Exemple de séisme de scenario .....	27
Figure 2-8 : Resultats de repartition de dommages au bati courant .....	28
Figure 2-9 :Exemple d'abaque de dommage .....	30
Figure 4-3 Bati individuel provenant d'un fichier MaolInfo .....	48
Figure 4-4 Enjeux lineaires .....	48
Figure 4-5 PGA - Approche deterministe .....	49
Figure 4-6 PGA - Approche probabiliste.....	50
Figure 4-7 Choix du phenomene .....	50
Figure 4-8 Donnees d'entrée caracterisant le phenomene .....	51
Figure 4-9 Carte d'acceleration sans prise en compte des effets de site .....	51
Figure 4-10 Carte d'acceleration avec prise en compte des effets de site .....	52
Figure 4-11 Informations necessaire pour generer le phenomene de liquefaction.....	53
Figure 4-12 Coefficient multiplicateur .....	54
Figure 4-13: Gestion des tables de fonctions d'impact.....	55
Figure 4-14 Fonction numerique .....	56
Figure 4-15 Fonction « Classes ».....	56
Figure 4-16 re-affectation .....	57
Figure 4-17 Matrice des fonctions <probabiliste> .....	58
Figure 4-18 Affectation des impacts aux enjeux .....	59
Figure 4-19 Untreated results: probability of reaching or exceeding certain damage grade .....	60
Figure 4-20 Untreated results: probability superior at 30% of being in indicated damage grade.....	61
Figure 4-21 Untreated results indicating the damage grade for linear exposed elements.....	61
Figure 4-22 Treated results using GIS system: dead/injured population synthesis by countries (Algerian project) .....	62
Figure 4-23 Treated results using GIS system: damaged buildings synthesis by countries.....	62

Figure 4-24 Treated results using GIS system: Department Seismic Risk Scenarios .....	63
Figure 5-1 Glissements de terrains – Praticabilité de la chaussée .....	65
Figure 5-2 Courbe de vulnérabilité pour les routes majeures .....	67
Figure 5-3 Courbe de vulnérabilité pour les routes secondaires.....	68
Figure 5-4 Application à des bâtiments en Béton Armé entièrement détruit.....	69
Figure 5-5 Obstruction 1 .....	69
Figure 5-6 Obstruction 2 .....	70
Figure 5-7 Obstruction 3 .....	70
Figure 5-8 Courbe de vulnérabilité des tunnels - Technique de construction faible .....	77
Figure 5-9 Courbe de vulnérabilité des tunnels - Bonne technique de construction.....	77
Figure 5-10 Courbe de vulnérabilité des pistes d'atterrissage .....	80
Figure 5-11 Composants d'un aéroport selon Hazus.....	81
Figure 6-1 Intérieur simplifié d'un central téléphonique (tiré de HAZUS).....	85
Figure 6-2 Courbe de vulnérabilité des centres de télécommunications avec composants ancrés	88
Figure 6-3 Courbe de vulnérabilité des centres de télécommunications avec composants non ancrés .....	88
Figure 6-4 Courbe de vulnérabilité d'une centrale électrique avec des composants ancrés.....	92
Figure 6-5 Courbe de vulnérabilité des lignes électriques dites « sismiques » .....	98
Figure 6-6 Courbe de vulnérabilité des lignes électriques dites « standards ».....	99

# 1. Introduction

Le Ministère de l'Intérieur est chargé, dans le cadre du « Plan Séisme », de la réalisation de Scénarios de Crise Sismique. Ces scénarios permettront d'organiser des exercices réalistes dans les zones II et III du zonage sismique national. Outre la préparation des acteurs à affronter la catastrophe, les exercices sensibiliseront la population au risque sismique.

Par ailleurs, toujours dans le cadre du Plan Séisme, le Gouvernement a mis en œuvre la réalisation de Scénarios Départementaux de Risque Sismique (SDRS) destinés principalement à hiérarchiser le risque au niveau des communes, pour définir des priorités de prescription de Plan de Prévention des Risques. Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable a en charge leur pilotage. Ces scénarios de risque conduisent à évaluer les dommages aux biens et aux personnes à l'échelle d'un département, pour différents séismes de scénario. Il est clair que cette évaluation est une des composantes essentielles d'un Scénario de Crise.

Par ailleurs, certains moyens et méthodes mis en œuvre pour réaliser des scénarios de risques peuvent être exploités avec profit pour les scénarios de crise.

Le BRGM réalisant pour le compte du MEDD l'étude destinée à définir la méthodologie de réalisation d'un scénario départemental de risque, il est apparu judicieux au Ministère de l'Intérieur de lui demander (commande du 13 Octobre 2005) de participer à une réflexion sur la réalisation de scénarios de crise.



## 2. Mise en Oeuvre d'un Scénario de Crise Sismique

### 2.1. PRELIMINAIRE : LA PRISE EN COMPTE DE L'AGRESSION SISMIQUE DANS LES SCENARIOS

On distingue deux grandes catégories de scénario en fonction de la nature de la représentation de l'agression :

1. Celle ci peut être représentée par une carte d'aléa régional, qui présente des niveaux d'agression ayant une certaine probabilité d'être atteinte pendant une période de temps donné. Ces niveaux peuvent être exprimés sous forme diverse (accélération, déplacement, spectre de réponse, intensité MSK ou EMS98,...). Elle peut être issue du zonage probabiliste de la France ou de zonages spécifiques. Ces niveaux sont classiquement évalués en prenant en compte l'ensemble de **tous les séismes** susceptibles d'affecter la zone. Il ne s'agit en aucun cas de niveaux susceptibles d'être atteints de manière synchrone sur l'ensemble du territoire.

L'utilisation d'une carte d'aléa régional comme donnée d'entrée conduit à distinguer une première catégorie de scénarios, destinée à une analyse quantitative globale du **risque**.

2. Celle ci peut être traduite par une carte d'intensités calculées (ou estimées) sur la base d'un séisme simulé dit « de scénario », dont les caractéristiques physiques (magnitude, localisation, mécanisme au foyer) et temporelle (période de retour) seront fixées en cohérence avec les données de la sismicité historique et instrumentale, du contexte géodynamique et des cartes sismo-tectoniques. Ce calcul nécessite également un choix de loi(s) d'atténuation adaptée(s) au contexte.

L'utilisation de séismes simulés conduit à distinguer une deuxième catégorie de scénarios, destinés à représenter de la manière la plus réaliste possible les conséquences d'un séisme particulier. Cette catégorie répond a priori aux besoins de sensibilisation, en raison de son aspect médiatique, et d'aide à l'élaboration de plan de secours.

Au niveau local, le phénomène sismique peut être aggravé de manière très significative par :

- Les effets de site liés à la nature et à la structure du sous-sol.
- Les effets de sites topographiques.
- La propagation de la rupture en surface (faille active).
- Les effets induits (liquéfaction des sols, mouvements (glissements, éboulements,...)).

La prise en compte de ces effets locaux est pertinente pour les deux catégories de scénarios (aléa régional ou séisme de scénario). Les données et méthodes d'évaluations de ces effets, qui sont d'ailleurs à la base des microzonages sismiques destinés entre autres à la réalisation des PPR, se situent dans un champ de résolution relativement vaste. Les méthodes disponibles vont des plus rustiques, basées sur l'interprétation de données cartographiques existantes, aux plus sophistiquées, reposant sur l'acquisition de données in situ, l'instrumentation et la modélisation du mouvement sismique.

## **2.2. PREMIERE COMPOSANTE : VISION STRATEGIQUE GLOBALE**

### **2.2.1. Principe**

Cette composante est destinée à donner une vision stratégique globale, à l'échelle de la zone d'étude du scénario, du risque supporté par les éléments essentiels de la gestion de crise.

Elle est destinée à pointer les bâtiments, infrastructure et réseaux qui présentent, en fonction de leur importance stratégique, de leur vulnérabilité structurelle ou fonctionnelle et du niveau d'aléa (régional et local) auquel ils sont exposés des niveaux de risques particulièrement importants.

Cette information est utile à deux niveaux :

- pour la confection des plans de secours, pour lesquels il est fondamental de connaître les ressources fiables et celles qui le sont moins – ou pas du tout,
- pour diminuer, de manière préventive, le risque en proposant des solutions pour palier aux défaillances prévisibles de tels ou tels enjeux stratégiques : confortement, substitution...

Un scénario permettant cette vision stratégique globale passe donc par :

- un inventaire des bâtiments, infrastructure et réseaux stratégiques,
- une hiérarchisation basée sur une typologie fonctionnelle de ces enjeux, qui permettra d'en estimer la valeur stratégique,
- une analyse de vulnérabilité, dont la résolution est dépendante de la valeur, (plus l'enjeu est important, plus l'analyse devrait être précise),
- une analyse de l'aléa local au droit de l'enjeu, dont la résolution est également dépendante de la valeur,
- enfin, la prise en compte de l'agression sismique par le biais d'une carte d'aléa régional (cas n° 1 du chapitre 2.1) – exemple figure 1.

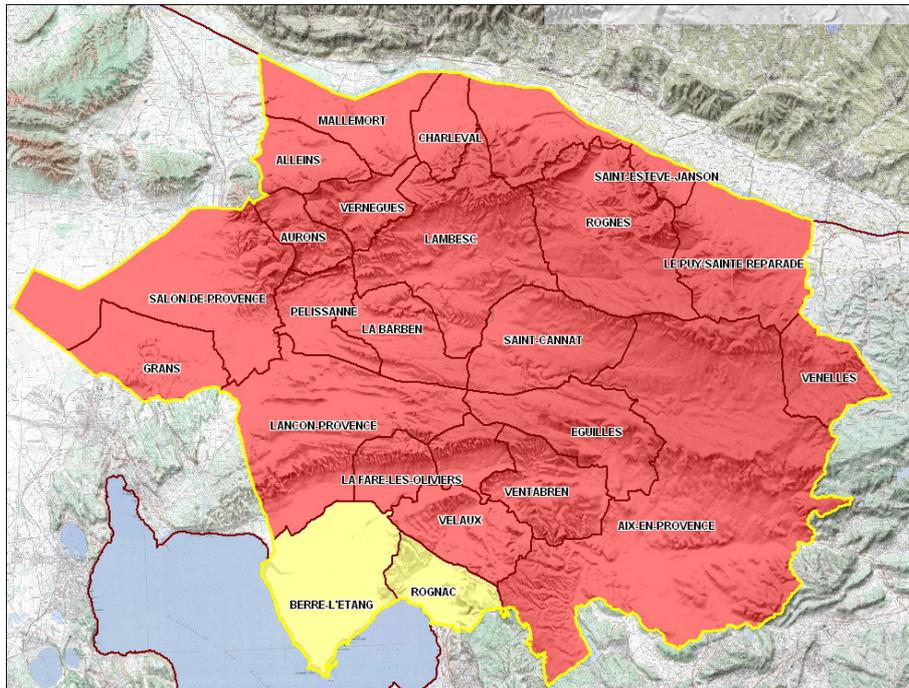


Figure 1 : Exemple de carte d'aléa régional

## 2.2.2. Inventaire et Hiérarchisation

### **Bâtiments Stratégiques**

L'inventaire et la classification des bâtiments stratégiques selon leur importance compléteront les Scénarios Départementaux de Risque Sismique traitant le bâti courant. Ce sous chapitre expose la méthodologie envisagée pour la classification et la hiérarchisation des enjeux.

- Dans une première phase, les différents types d'enjeux sont classés selon leur fonctionnalité pendant la crise (fonctionnalité « Etablissement de soins », fonctionnalité « Sécurité Civile », fonctionnalité « Secours », etc.). (Cf. Tableau 2-1)
- Dans une deuxième phase, les bâtiments sont hiérarchisés au sein de ces classes de fonctionnalité suivant leur importance lors du développement de la crise à  $T_{\text{crise}}$ ,  $T_{\text{crise} + 4h}$  et  $T_{\text{crise} + 12h}$ . (Cf. Tableau 2-1)

Le Tableau 2-1 ci-après propose une première classification correspondant à des deux premières phases. Pour définir La typologie fonctionnelle des bâtiments de classe D, nous nous sommes basé sur l'article 3 du décret 91-461 du 14 mai 1991 et sur l'article 2 de l'Arrêté du 29 mai 1997 relatif à la prévention du risque sismique.

Article 3 du décret du 14 mai 1991

La catégorie dite " à risque normal " comprend les bâtiments, équipements et installations pour lesquels les conséquences d'un séisme demeurent circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiat.

Ces bâtiments, équipements et installations sont répartis en quatre classes :

- ✓ classe A : ceux dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité économique;
- ✓ classe B : ceux dont la défaillance présente un risque dit moyen pour les personnes;
- ✓ classe C : ceux dont la défaillance présente un risque élevé pour les personnes et ceux présentant le même risque en raison de leur importance socio-économique.
- ✓ **classe D : ceux dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, pour la défense ou pour le maintien de l'ordre public.**

Article 2 de l'Arrêté du 29 mai 1997 donnant des précisions sur ces bâtiments de classe D.

- Bâtiments dont la protection est primordiale pour les besoins de la sécurité civile et de la défense nationale ainsi que pour le maintien de l'ordre public et comprenant notamment:
  - Les bâtiments abritant les moyens de secours en personnels et matériels et présentant un caractère opérationnel;
  - Les bâtiments définis par le ministre chargé de la défense, abritant le personnel et le matériel de la défense et présentant un caractère opérationnel;
  - Les bâtiments contribuant au maintien des communications, et comprenant notamment ceux:
    - des centres principaux vitaux des réseaux de télécommunications ouverts au public;
    - des centres de diffusion et de réception de l'information;
    - des tours hertziennes stratégiques;
- Bâtiments et toutes leurs dépendances fonctionnelles assurant le contrôle de la circulation aérienne des aéroports classés dans les catégories A, B et C2 suivant les instructions techniques pour les aéroports civils (ITAC) édictées par la direction générale de l'aviation civile, dénommées respectivement 4 C, 4 D et 4 E suivant l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI);
- Bâtiments des établissements de santé au sens de l'article L 711-2 du code de la santé publique qui dispensent des soins de courte durée ou concernant des affections graves pendant leur phase aiguë en médecine, chirurgie et obstétrique;
- Bâtiments de production ou de stockage d'eau potable;
- Bâtiments des centres de distribution publique de l'énergie;
- Bâtiments des centres météorologiques.

De façon qualitative, l'importance des enjeux dépend directement de la temporalité des événements après crise. La hiérarchisation présentée dans le tableau ci-dessous fait donc apparaître les bâtiments immédiatement requis (Importance 1), requis après 4 h et requis après

12h (Importance 3). La classe d'importance des enjeux influe sur le niveau d'analyse de vulnérabilité à opérer (Cf. paragraphe vulnérabilité ci-après).

Tableau 2-1 Typologie Fonctionnelle et Hiérarchisation d'importance des bâtiments stratégiques

Nom	Fonctionnalité	Importance		
		1 - T <sub>crise</sub>	2 - T <sub>crise+4h</sub>	3 - T <sub>crise+12h</sub>
E1	<u>Etablissements de soins</u>			
1.1	Hôpitaux avec service d'urgence (plus de 200 lits)	X		
1.2	Hôpitaux (50 à 200 lits)		X	
1.3	Hôpitaux (moins de 50 lits)		X	
1.4	Cliniques, Laboratoires			X
1.5	Autres établissement de soins			X
E2	<u>Secours et déblaiement</u>			
2.1	Casernes de Pompiers	X		
2.2	SAMU	X		
2.3	Autres unités de secours d'urgence	X		
2.4	Entreprises de déblaiement	X		
E3	<u>Sécurité</u>			
3.1	Commissariats		X	
3.2	Gendarmerie		X	
3.3	Armée		X	
E4	<u>Etablissement de regroupement de victimes</u>			
4.1	Etablissements scolaires (capacité sup. à 300 personnes)	X		
4.2	Etablissements scolaires (capacité sup. à 150 personnes)		X	
4.3	Gymnase	X		
4.4	Salle polyvalente		X	
E4	<u>Centre décisionnel</u>			
3.1	Etablissements du gouvernement	X		
3.2	Centres de Défense Militaire	X		
3.3	Préfectures	X	X	
3.4	Mairies		X	X

## Réseaux

De même que pour les bâtiments stratégiques, les différents types de réseaux sont classés et hiérarchisés selon 2 phases.

- Dans une première phase, les différents réseaux sont classés selon leur fonctionnalité pendant la crise (fonction « de transport », fonction « de service »). (Cf. )
- Dans une deuxième phase, les réseaux sont hiérarchisés au sein de ces classes de fonctionnalité suivant leur importance.
  - **Importance A** : Réseaux primordiaux pendant la crise (route d'acheminement des secours vers les zones gravement touchées, transport des blessés, communication d'informations entre les gestionnaires de crise (Réseau SYNERGIE), etc.)
  - **Importance B** : Réseaux de seconde utilité lors d'une crise sismique mais pouvant ralentir le rétablissement du système si ils sont gravement endommagés (transport d'énergie, conduite d'eau potable, etc.)
  - **Importance C** : Réseaux d'une utilité moindre pendant la crise (Voie de chemin de fer, conduite d'eau usée, etc.)

Tableau 2-2 : Fonctionnalité et Importance des réseau

<b>Système de transport</b>	<b>Importance</b>
Chaussées (routes, ponts, tunnels)	A
Chemin de fer	C
Aéroport	B en France métropolitaine, A aux Antilles
Port	C
<b>Réseaux de service</b>	
Télécommunications	A
Electricité	B
Eau potable	B
Eau usée	C
Gaz	C

### 2.2.3. Analyse de Vulnérabilité

#### **Bâtiments Stratégiques**

En s'appuyant sur de récentes études en matière de vulnérabilité de bâtiments (*RISK-UE* : BRGM/RP-52760-FR Février 2004 ; *HAZUS* : « Hazard US », FEMA's software program for estimating potential losses from disaster ; *FEMA* : Federal Emergency Management Agency), deux niveaux d'analyse sembleraient correspondre aux objectifs requis pour l'analyse de bâtiments

stratégiques. Le niveau N1+ couplant précision des résultats et rapidité d'analyse serait un niveau adapté pour les bâtiments d'importance 2 et 3 (Cf. Tableau 2-1). Le niveau N2+ est adapté pour une étude poussée de la vulnérabilité. Celui-ci peut être utilisé pour analyser les bâtiments d'importance 1.

**Niveau N1+ : Description de la méthode**

Cette méthode d'évaluation de vulnérabilité basée sur les statistiques des séismes passés et couplée à l'avis d'un expert permet d'affecter un indice de vulnérabilité par bâtiment. Un bâtiment par jour environ peut être diagnostiqué. Cet indice est compris entre [0 et 1] i.e. [bâti « invulnérable » et bâti très vulnérable]. La confrontation de cet indice avec une agression sismique donnée permet d'estimer la probabilité d'atteindre et/ou de dépasser un niveau de dommage de la structure. (Cf. Figure 2-2, Figure 2-3, Figure 2-4).

Les critères suivants sont pris en compte lors de l'analyse :

- La typologie structurelle (maçonnerie, structure portique béton armé, structure métallique, etc.). La typologie permet de cibler la position du bâtiment dans l'intervalle de vulnérabilité [0 - 1] cité précédemment. (Cf. Figure 2-1)

Typology	Description	V <sub>1</sub> representative values				
		V <sub>1,BIM</sub> <sup>min</sup>	V <sub>1,BIM</sub> <sup>**</sup>	V <sub>1,BIM</sub> <sup>**</sup>	V <sub>1,BIM</sub> <sup>**</sup>	V <sub>1,BIM</sub> <sup>max</sup>
M1.1	Rubble stone, fieldstone	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
M1.2	Simple stone	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M1.3	Massive stone	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M2	Adobe	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
M3.1	Wooden slabs	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M3.2	Masonry vaults	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
M3.3	Composite steel and masonry slabs	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
M3.4	Reinforced concrete slabs	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M4	Reinforced or confined masonry walls	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
M5	Overall strengthened	0.3	0.49	0.694	0.953	1.02
RC1	Concrete Moment Frames	-0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
RC2	Concrete shear walls	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC3.1	Regularly infilled walls	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98
RC3.2	Irregular frames	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
RC4	RC Dual systems (RC frame and wall)	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC5	Precast Concrete Tilt-Up Walls	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
RC6	Precast C. Frames, C. shear walls	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
S1	Steel Moment Frames	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
S2	Steel braced Frames	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
S3	Steel frame+unrein. mas. infill walls	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
S4	Steel frame+cast-in-place shear walls	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
S5	Steel and RC composite system	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
W	Wood structures	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Figure 2-1 Valeur représentative des Indices de vulnérabilité selon la typologie du bâti

- La hauteur du bâtiment et le niveau de code parasismique appliqué (Date de construction). Ces variables viennent modifier l'indice de vulnérabilité fixé par la typologie.

- L'avis d'un expert<sup>1</sup> via un examen externe et interne de la structure. L'examen du mode de fonctionnement structurel conduit par un expert apporte une dernière modification à l'indice de vulnérabilité.

**Table 1.4. Damage Grading and Loss Indices**

Damage Grade	Damage Grade Label			Description
	LM1	LM2	FEMA/ NIBS (HAZUS)	
0 (D0)	None	None	None	No damage
1 (D1)	Slight	Minor	Slight	Negligible to slight damage
2 (D2)	Moderate	Moderate	Moderate	Slight structural, moderate nonstructural
3 (D3)	Substantial to heavy	Severe	Extensive	Moderate structural, heavy nonstructural
4 (D4)	Very heavy	Collapse	Complete	Heavy structural, very heavy nonstructural
5 (D5)	Destruction			Very heavy structural, total or near total collapse

*Figure 2-2 Description des états de dommages D0 à D5.*

---

<sup>1</sup> C'est cet avis d'expert qui permet de distinguer cette méthode dite « de niveau N1+ » des méthodes dites « de niveau 1 » (au sens SDRS) pour lesquelles un avis d'expert est demandé uniquement au niveau régional, et non pour chaque bâtiment.

Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie	
	<b>Degré 1:</b> Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux)
	<b>Degré 2:</b> Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)
	<b>Degré 3:</b> Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants)
	<b>Degré 4:</b> Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)
	<b>Degré 5:</b> Destruction (dégâts structuraux très importants) Effondrement total ou presque total.

Figure 2-3 Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie

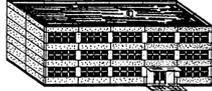
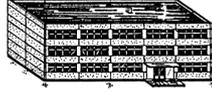
Classification des dégâts aux bâtiments en béton armé	
	<b>Degré 1 :</b> Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structurels)
	<b>Degré 2 :</b> Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)
	<b>Degré 3 :</b> Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants)
	<b>Degré 4 :</b> Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)
	<b>Degré 5 :</b> Destruction (dégâts structuraux très importants) Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.

Figure 2-4 Classification des dégâts aux bâtiment en béton armé

### Niveau N2+ : Description de la méthode

Une étude plus détaillée dite « de niveau N2+ » est applicable pour les bâtiments de très haute importance. Pour un bâtiment individuel, l'objectif de cette analyse est de modéliser

numériquement en 3 dimensions la structure à partir des caractéristiques intrinsèques de l'ouvrage (Cf. Figure 2-5) et de calculer la courbe en capacité de l'ouvrage (Méthode « Push-Over »). Croisé avec le niveau d'agression sismique, cette méthode évalue avec précision l'état d'endommagement du bâti. Un schéma récapitulatif des étapes et des types de résultats est donné par la Figure 2-6. Les résultats finaux obtenus sont une courbe en capacité de la structure qui caractérise la vulnérabilité du bâtiment et un niveau de dommage (Cf. Figure 2-6) pour une agression sismique donnée.



Figure 2-5 Exemple de bâtiment modélisé sous SAP2000

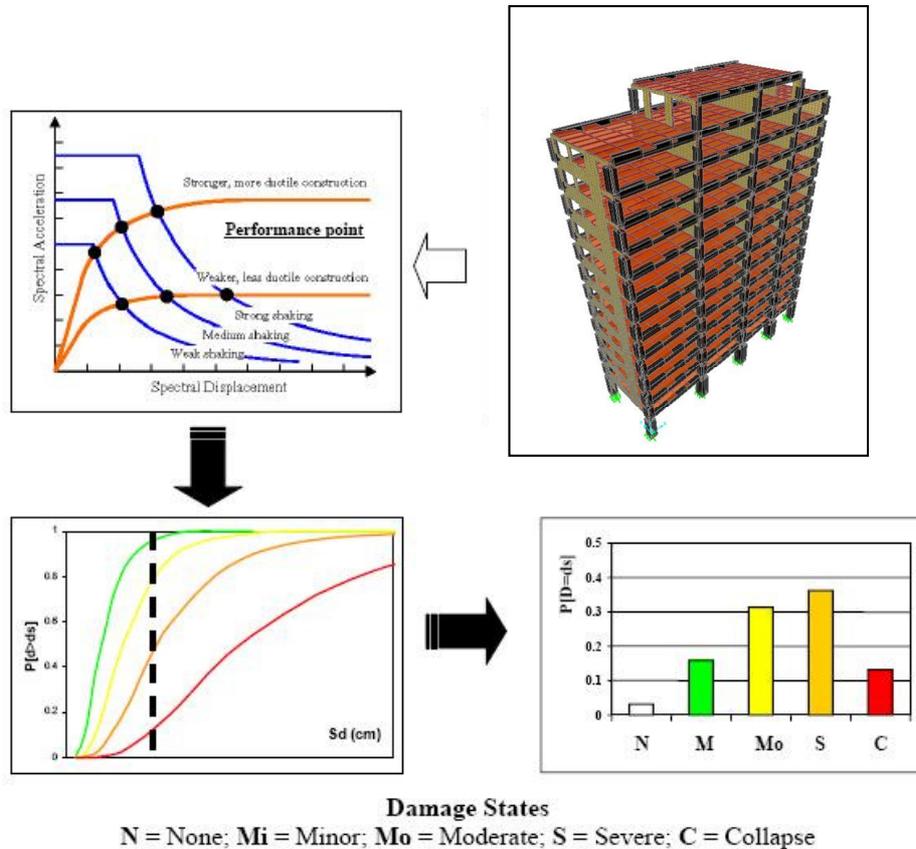


Figure 2-6 Méthode de niveau N2+ : Etapes de la modélisation numérique d'un bâtiment et résultats obtenus

## Réseaux

Les méthodes d'analyses de vulnérabilité et de temps de réhabilitation concernant les réseaux sont des méthodes statistiques tirées du projet RISK-UE. Nous invitons le lecteur à lire les annexes 2 et 3 qui exposent les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des réseaux. A ces méthodes d'évaluation de vulnérabilité pourraient être couplés des calculs de flux de trafic afin de visualiser son évolution en cas de coupure.

Une adaptation d'Armagedom pour les réseaux est nécessaire. Les courbes de vulnérabilité exposées dans les annexes 2 et 3 feront l'objet d'une intégration dans le logiciel Armagedom présenté en annexe 1.

### 2.2.4. Type de restitution

Deux principaux types de représentation seront utilisables pour l'aide à la réalisation de l'exercice de gestion de crise. La synthèse des paragraphes présentés ci avant nous permettra de dresser :

- Des cartes localisant les enjeux et définissant leur niveau de risque et leur indicateur de suractivité ou de maillage.
- Des fiches Enjeux/Risques résumant pour chaque enjeu leur localisation, leur importance, leur risque encouru et leur indicateur de suractivité ou de maillage. (Cf. Tableau 2-3)

Tableau 2-3 : Exemple de fiche enjeu

Enjeux	Localisation	Classification au sein de sa classe d'enjeux (1 – 2 ou 3 / A - B ou C)	Indicateur de suractivité - Indicateur de maillage	Risque (Elevé – modéré – Faible : à définir)
EE1 1.1 Hôpitaux avec service d'urgence (plus de 200 lits) 1.2 Hôpitaux (50 à 200 lits) 1.3 etc.		1  2		Elevé  Faible
EE2 2.1 Casernes de pompiers		1		Modéré
Route RN90		A		Elevé

## 2.3. DEUXIEME COMPOSANTE : EXERCICE DE GESTION DE CRISE

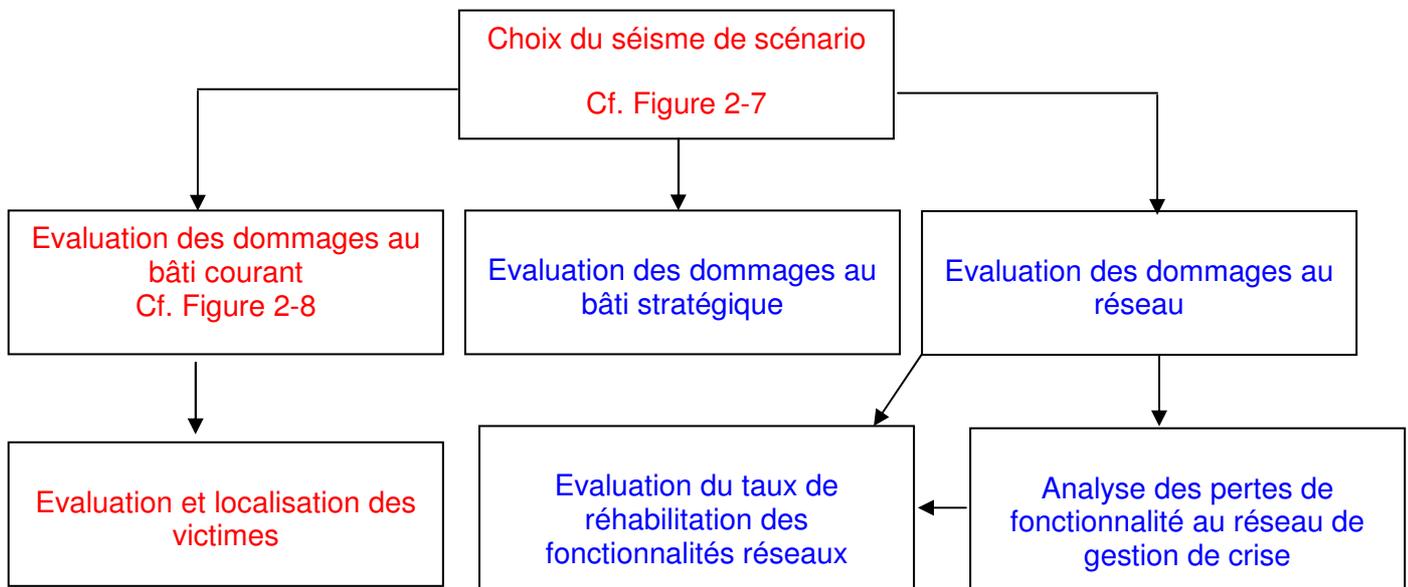
### 2.3.1. Principe

Cette deuxième composante a pour but de mettre à disposition les éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un exercice réaliste de gestion de crise. Plusieurs types d'exercices peuvent être réalisés : de l'exercice d'état-major aux exercices mobilisant des moyens de terrains et incluant une participation de la population.

Pour ce faire, il est proposé de compléter une simulation basé sur un séisme de scénario plausible réalisé dans le cadre des SDRS (Cf. Chapitre 2.1 « Préliminaire : la prise en compte de l'agression sismique dans les scénarios ») en leurs superposant des dommages de bâtiments stratégiques et des dysfonctionnements réseaux (Cf. Chapitre 2.2.3 « Analyse de Vulnérabilité »). Ces informations d'évaluation et de répartition de dommage pourront alors être utilisées par le Ministère de l'Intérieur pour bâtir l'exercice.

### 2.3.2. Construction de l'exercice

L'organigramme ci-dessous présente les données utilisables en entrée d'exercice (En rouge : données SDRS ; en bleu : complément pour scénario de crise). Lors des réunions de groupe de travail pour la mise en place d'exercice de gestion de crise, le BRGM pourrait apporter un point de vue scientifique et des résultats de simulations rassemblant les éléments exposés dans les paragraphes ci avant. Ces données quantifieront de façon réaliste les dommages aux bâtis courants, aux bâtiments stratégiques et aux réseaux.



**NB 1 : Pour que cet organigramme soit exhaustif, il conviendrait de rajouter les ouvrages dits à « Risque Spécial ».** Par ouvrage à « Risque Spécial », nous entendons les ouvrages pour lesquels un dommage même mineur peut avoir pour la population ou l'environnement des conséquences catastrophiques, hors de proportion avec les dégâts subis par l'ouvrage lui-même (par exemple, industries chimiques traitant ou stockant des produits hautement toxiques et susceptibles de se répandre, industrie nucléaire, etc.).

Compte tenu des conclusions tirées lors des réunions avec le Ministère de l'Intérieur, il a été convenu que ces ouvrages pourront faire l'objet d'une étude après résultat d'un premier exercice pilote ne ciblant que les ouvrages à risque dit « normal ».

**NB 2 :** Par ailleurs, les effets induits par le séisme sur les bâtiments à risque « normal » (incendie, mouvement de terrain, etc.) ne seront pas traités dans un premier temps.

Les principaux éléments apportés lors de la construction de l'exercice seront donc :

- L'évaluation des dommages au bâti courant : Pourcentage de bâtiment ayant atteint un état de dommage D4 ou D5. Une description des dommages est donnée par la Figure 2-2. Une illustration est donnée par les Figure 2-3 et Figure 2-4.
- L'évaluation des dommages au bâti stratégique. (Cf. sous chapitre sur les bâtiments stratégiques).
- L'évaluation des dommages au réseau présenté sous la forme d'une probabilité d'atteinte ou de dépassement d'un certain niveau de dommage. (Cf. annexes 2 et 3)

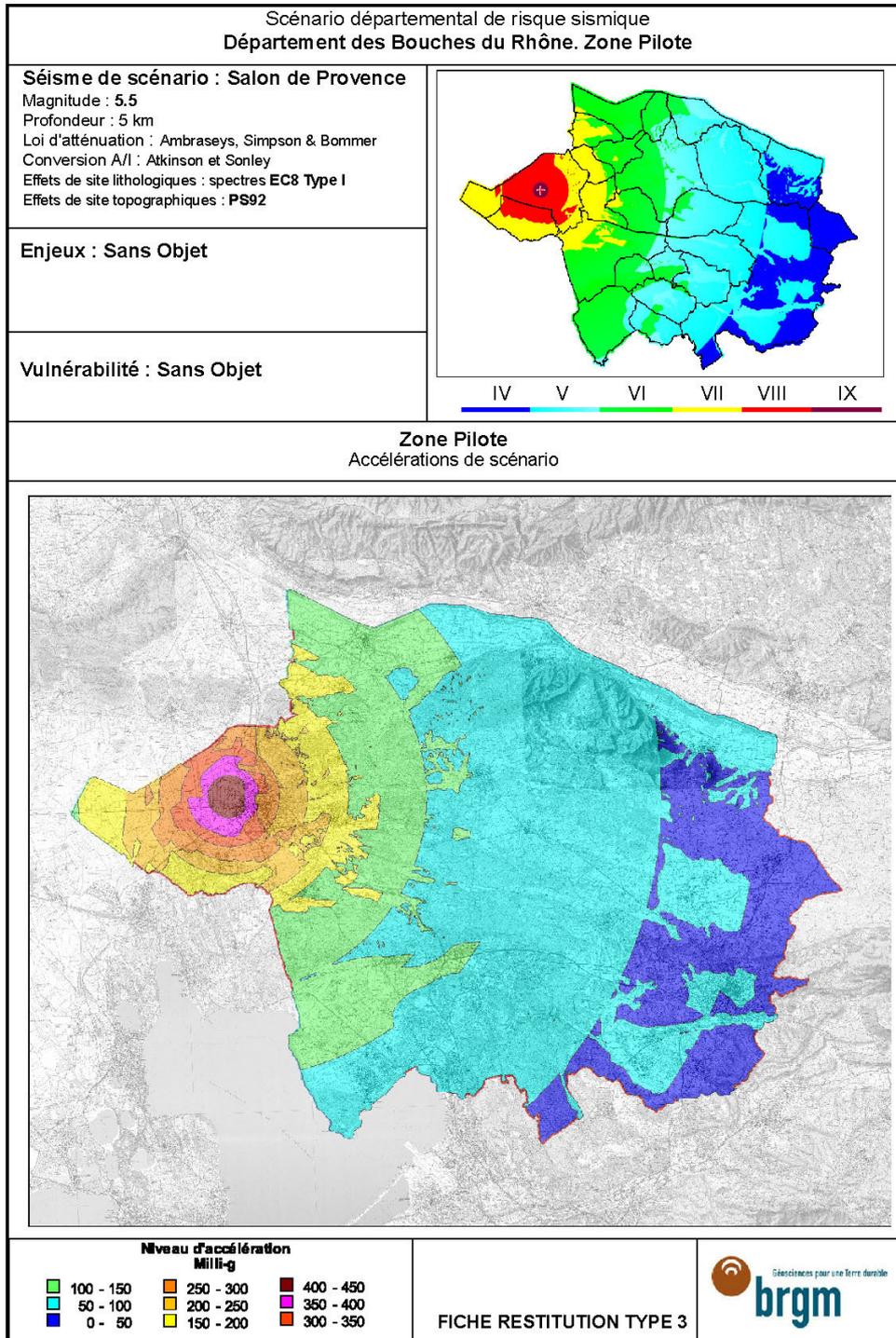
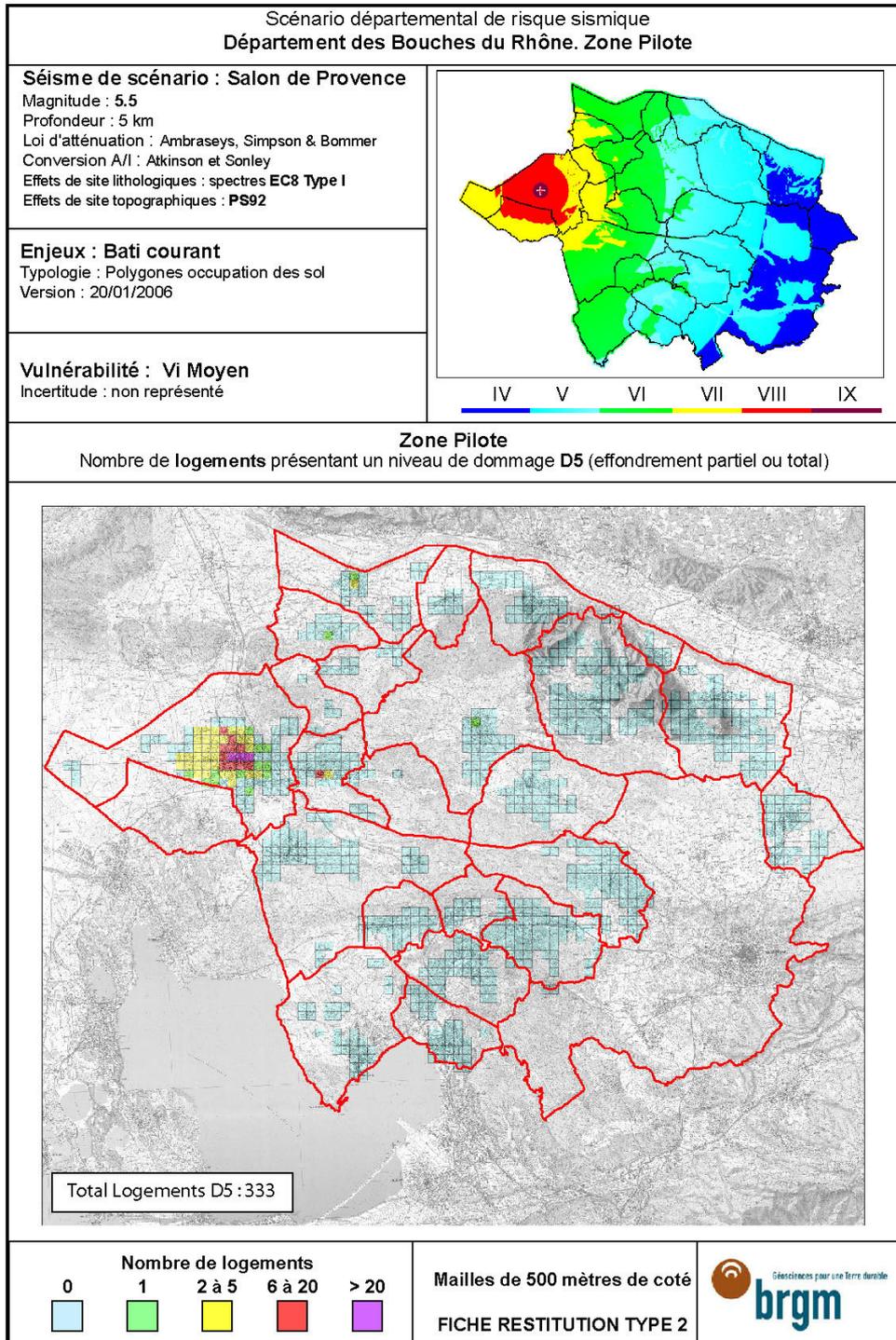


Figure 2-7 : Exemple de séisme de scénario

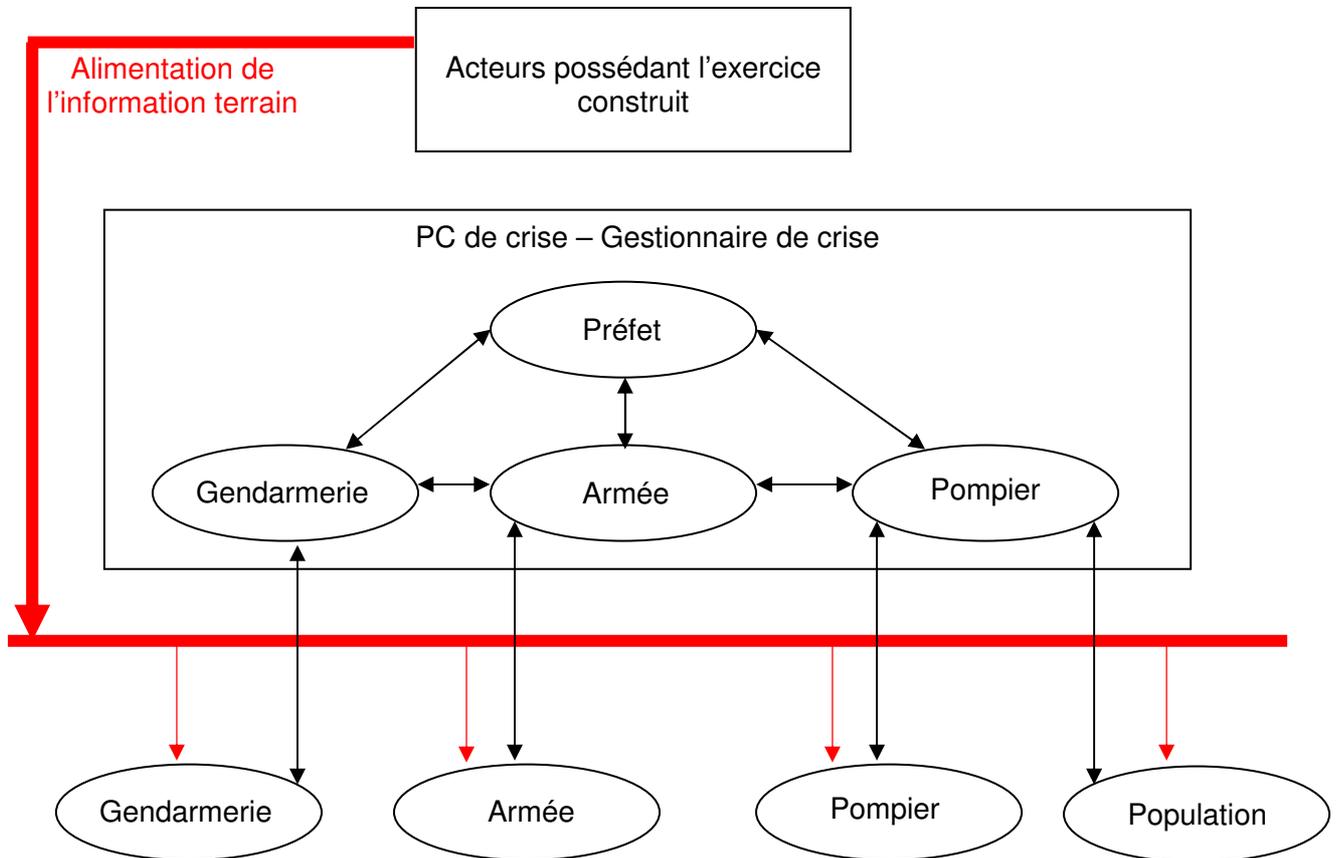
## Scénario de Crise Sismique



*Figure 2-8 : Resultats de repartition de dommages au bati courant*

### 2.3.3. Réalisation de l'exercice

#### Exemple d'organigramme général



Lors de l'organisation des groupes de travail, le BRGM aiderait les acteurs locaux dans la définition de la diffusion d'information :

Mise à jour à T0 + xH des données terrains.

- Comment la protection civile utilise les informations ?
  - Résolution des informations ?
  - Où insert-on l'information ?
  - Format de restitution ?

## 2.4. TROISIEME COMPOSANTE : ABAQUE DE DOMMAGE DES ORGANES DE GESTION CRISE

### 2.4.1. Principe

La troisième composante est destinée à mettre à disposition, dans le cadre d'un plan Orsec Séisme, les éléments permettant d'avoir une première estimation, dès que les caractéristiques du séisme sont disponibles, du niveau de dommage et de disfonctionnement d'enjeux clefs. On propose d'élaborer une base de données d'abaques répertoriant les degrés de dommages des bâtiments stratégiques en fonction d'un panel de séismes de références. Ces abaques doivent être de lecture rapide et aisée.

### 2.4.2. Séismes de scénarios

Une gamme de séisme de scénario les plus probables sera définie pour générer des abaques de dommage pour chaque enjeu. Ces abaques comporteront le niveau de dommage de l'enjeu en fonction de la distance à l'épicentre. Cf. Figure 2-9.

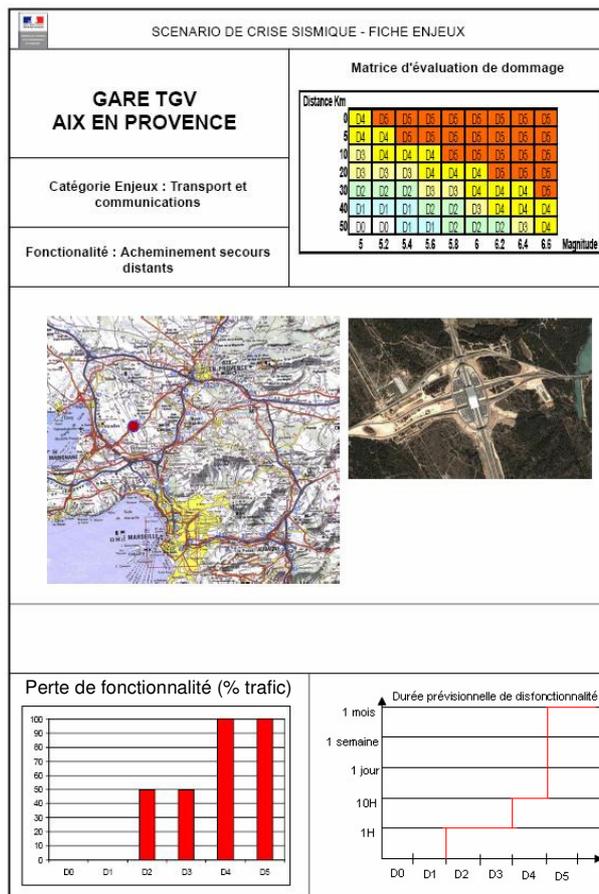


Figure 2-9 :Exemple d'abaque de dommage

### **2.4.3. Gestion de la base de données**

Ces fiches d'abaques de dommages seront accessibles via un logiciel de gestion d'abaque. La sélection d'un enjeu donnera accès à ses abaques correspondants.

Les gestionnaires de crise pourront préalablement être formés pour utiliser convenablement le logiciel fourni et le contenu scientifique des abaques. (Ils pourraient aussi être sollicités pour établir certains abaques de réhabilitation de fonctionnalité après crise.) Des demandes similaires ayant lieu pour les risques d'inondations et de feux de forêt, des renseignements seront demandés aux personnes concernées lors de la réalisation de ces abaques.



### 3. Conclusion

Ce rapport a proposé une démarche de Scénarios de Crise Sismique basée sur les Scénarios Départementaux de Risque Sismique. Trois types de « livrables » ont été exposés :

- ✓ Le premier est destiné à donner une vision stratégique globale, à l'échelle de la zone d'étude du scénario, du risque supporté par les éléments essentiels de la gestion de crise. Une hiérarchisation des bâtiments stratégiques et des réseaux est nécessaire, via une typologie fonctionnelle des enjeux en période de crise et la prise en compte d'un niveau d'aléa sismique régional. Le niveau d'analyse de la vulnérabilité d'un enjeu est fonction de son importance. Nous proposons deux méthodes d'analyse de vulnérabilité. La première, probabiliste, permet d'étudier assez rapidement les enjeux les moins stratégiques. La seconde, déterministe, peut se baser sur une modélisation numérique des bâtiments hautement stratégiques pour évaluer leur réponse sous sollicitation sismique.
- ✓ Le second a pour but de mettre à disposition les éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un exercice réaliste de gestion de crise. Plusieurs types d'exercices peuvent être réalisés : de l'exercice d'état-major aux exercices mobilisant des moyens de terrains et incluant une participation de la population. Pour ce faire, il est proposé de compléter une simulation basé sur un séisme de scénario plausible réalisé dans le cadre des SDRS en leurs superposant des dommages de bâtiments stratégiques et des dysfonctionnements réseaux. Ces informations d'évaluation et de répartition de dommage pourront alors être utilisées par le Ministère de l'Intérieur pour bâtir l'exercice.
- ✓ Le troisième est destiné à mettre à disposition, dans le cadre d'un plan Orsec Séisme, les éléments permettant d'avoir une première estimation, dès que les caractéristiques du séisme sont disponibles, du niveau de dommage et de disfonctionnement d'enjeux clés. On propose d'élaborer une base de données d'abaques répertoriant les degrés de dommages des bâtiments stratégiques en fonction d'un panel de séismes de références. Ces abaques doivent être de lecture rapide et aisée.

Ces livrables, couplés aux Scénarios Départementaux de Risque Sismique – vision cartographique des points stratégiques faibles, évaluation des dommages au bâti stratégique et au réseau, abaques de dommage – peuvent être in fine implémentés dans le logiciel Armagedom présenté en annexe 1. Armagedom traitant déjà en grande partie la vulnérabilité du bâti, nous nous sommes focalisé lors de cette étude préliminaire sur la vulnérabilité des réseaux. Les annexes 2 et 3 répertorient les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des réseaux qu'il est possible d'implémenter dans Armagedom.



## **4. Annexe 1 Presentation d'Armagedom**



## 4.1. INTRODUCTION

Armagedom a été développé dans le cadre d'opérations de Service Public et d'actions de Recherche au BRGM, avec Gemitis Antilles de 1999 à 2001 (BRGM/RP-50922-FR juillet 2001 pour Fort-de-France) et (BRGM/RP-50923-FR juillet 2001 pour Pointe-à-Pitre), XI CPER (BRGM/RP-50717-FR mai 2001 pour la Martinique) et (BRGM/RP-50799-FR juin 2001 pour la Guadeloupe).

Par la suite, il a été utilisé dans le déroulement d'études similaires telles que Geria (BRGM/RP-51301-FR 2001), RISK-UE, SAFE (BRGM/RP-52760-FR et BRGM/RP-52761-FR février 2004).

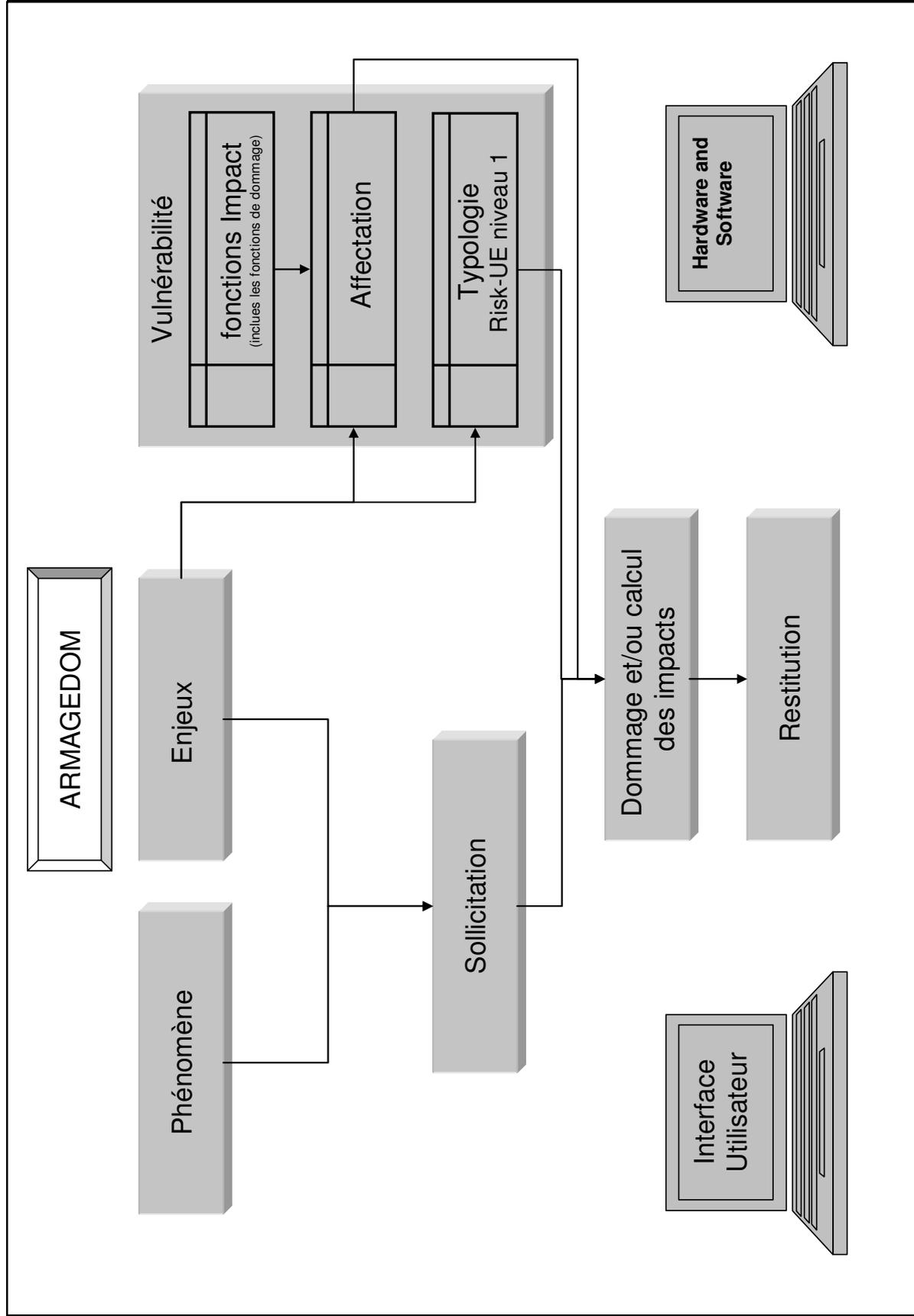
Logiciel flexible et intuitif d'utilisation, il est dédié à la réalisation de scénarios de risque sismique. Il offre de plus la possibilité d'intégrer les agressions d'autres phénomènes. Il est malgré tout orienté « séisme » avec une prise en compte des mouvements de terrain induits, notamment la liquéfaction.

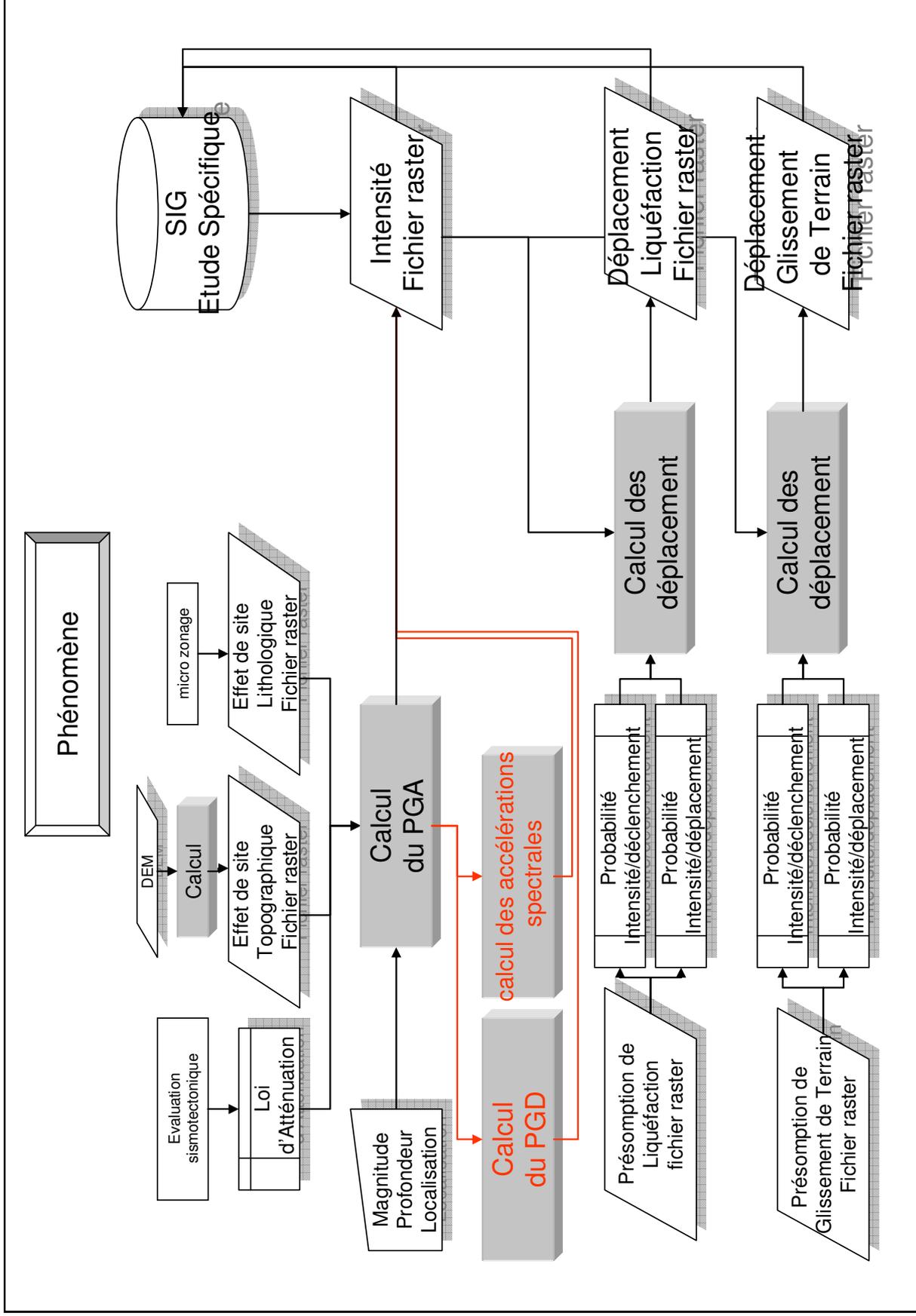
Armagedom est constituée de plusieurs modules incluant les phases nécessaires pour créer un scénario de risque sismique (définition du phénomène, définition des enjeux et de leur vulnérabilité, type de méthode d'analyse utilisée). Les modules peuvent être utilisés indépendamment, mais peuvent également être interdépendant dans la mesure où les sorties d'un module peuvent être utilisées en tant qu'entrée d'un autre module. Les résultats peuvent être visualisés au format SIG. (Ce logiciel a été développé en Visual Basic afin de permettre l'intégration d'autres logiciels tels que ACCESS ou ARCGIS.)

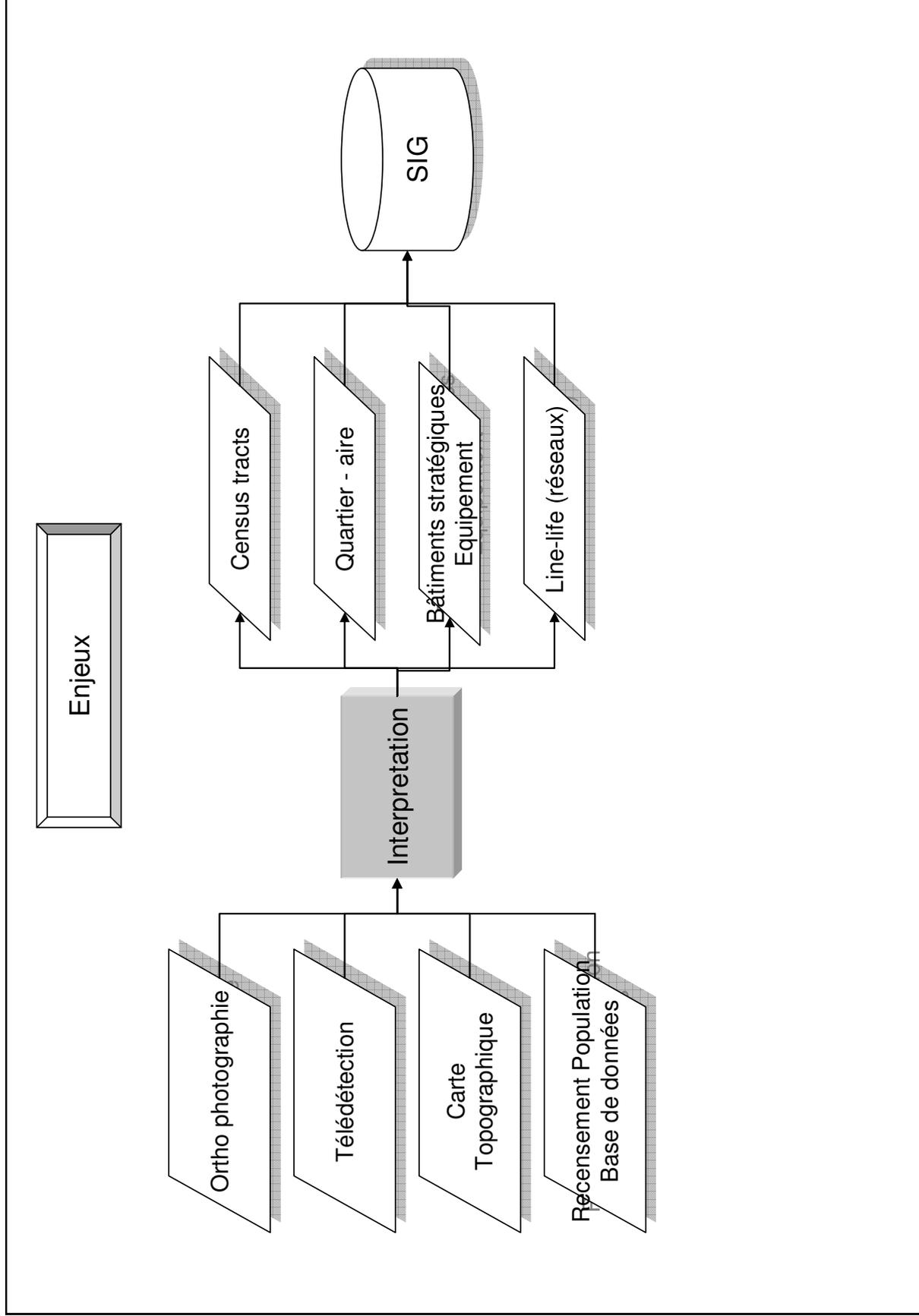
La programmation du logiciel en différents modules permet l'amélioration des modules existants ou le développement de nouveaux modules sans modifier le logiciel entièrement. Les améliorations peuvent être apportées pour adapter les modules existants aux besoins locaux ou régionaux ou incorporer de nouveaux modèles et de nouvelles données.

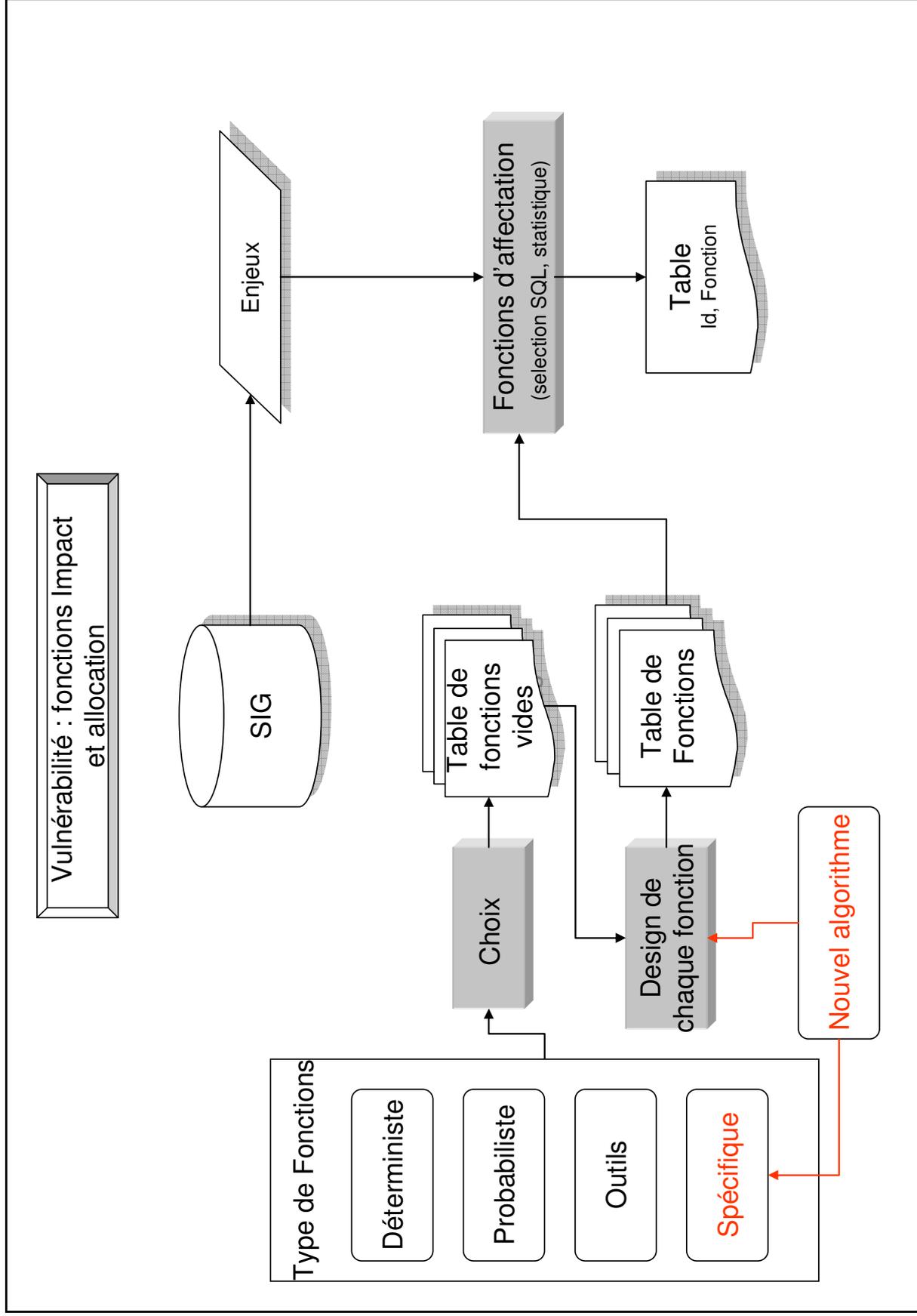
## 4.2. ORGANIGRAMME

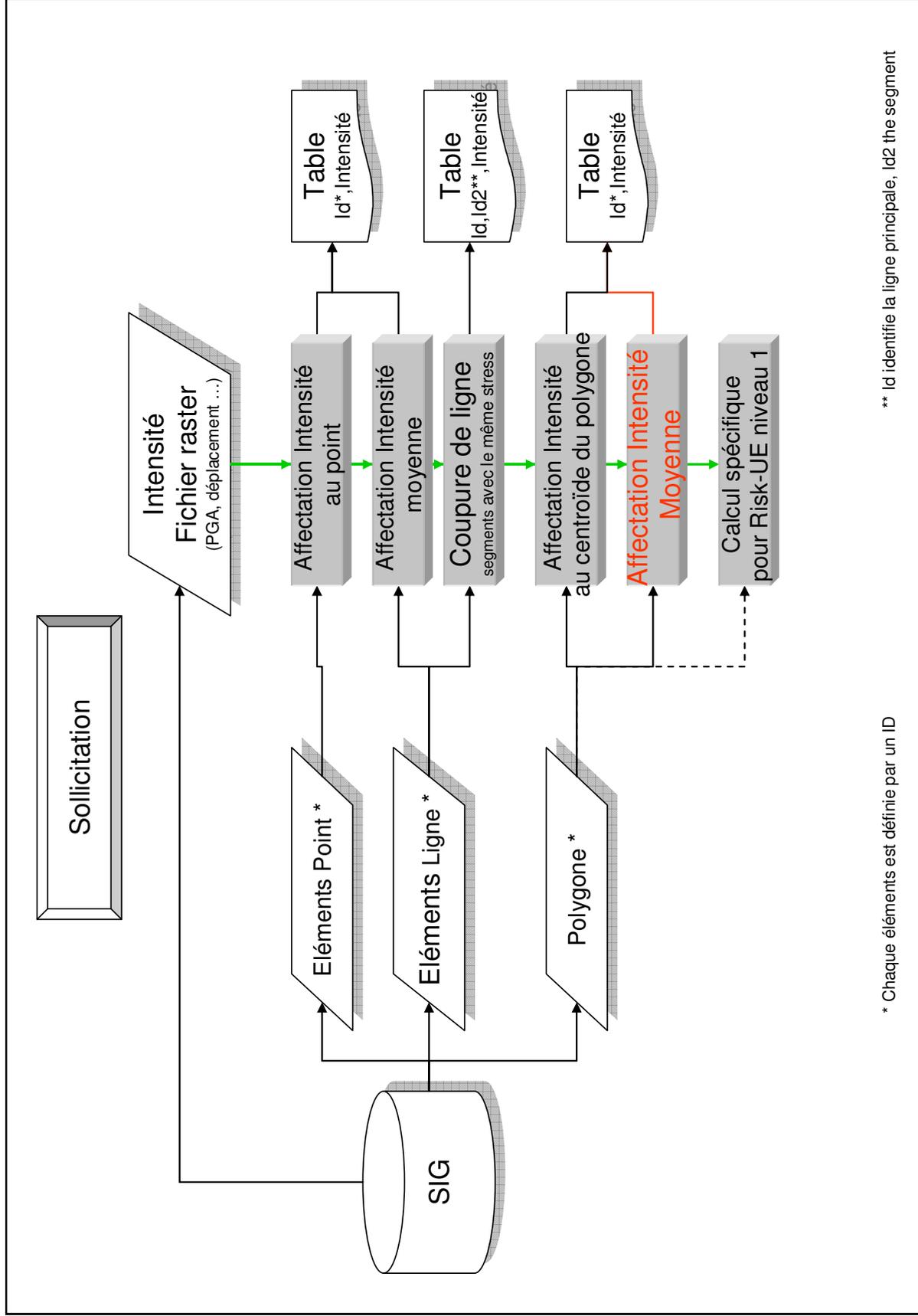
Les pages suivantes représentent l'organigramme général d'Armagedom et situe les modules précédemment cités dans la chaîne du processus de modélisation. Les éléments en rouge sont à développer.

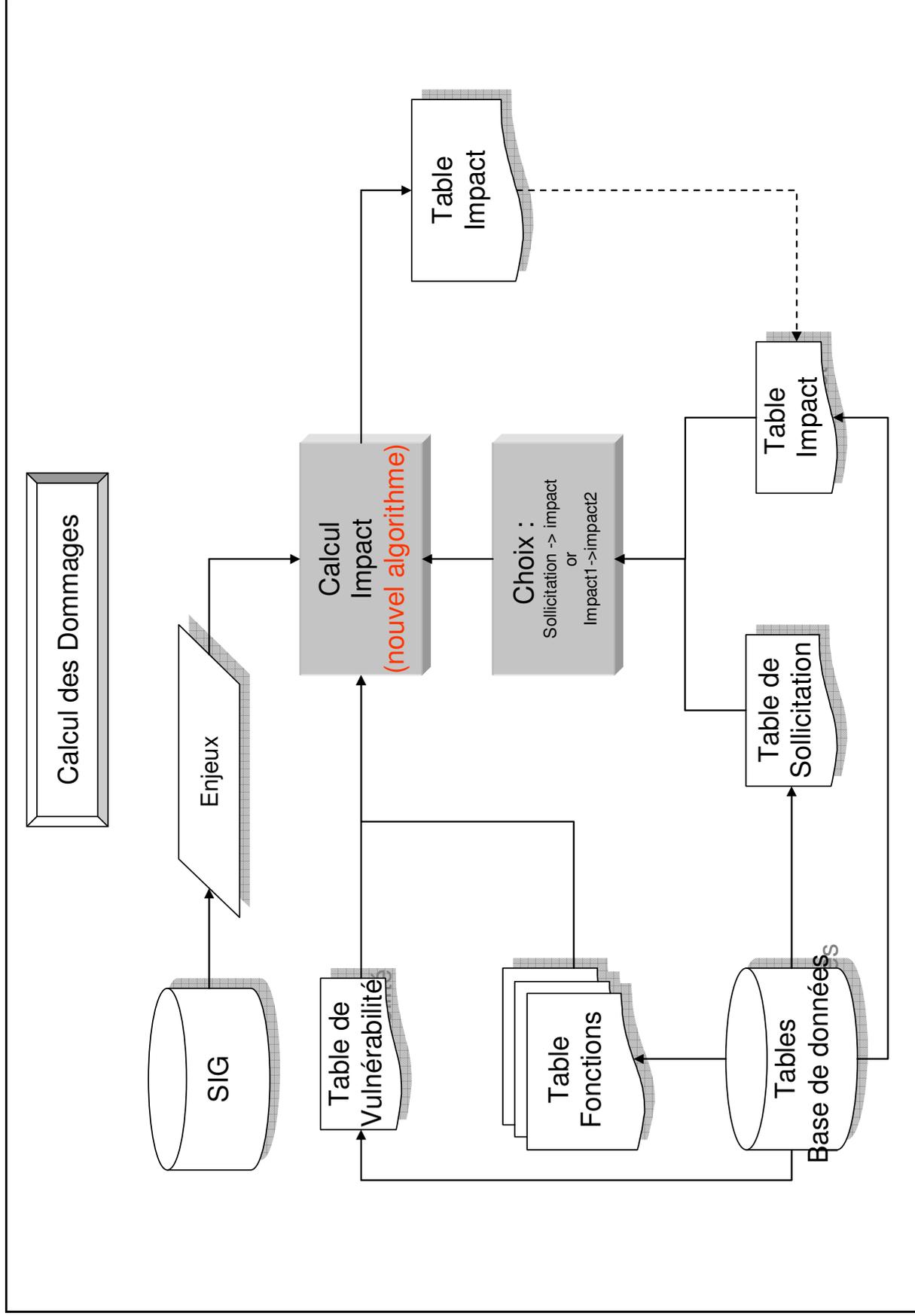


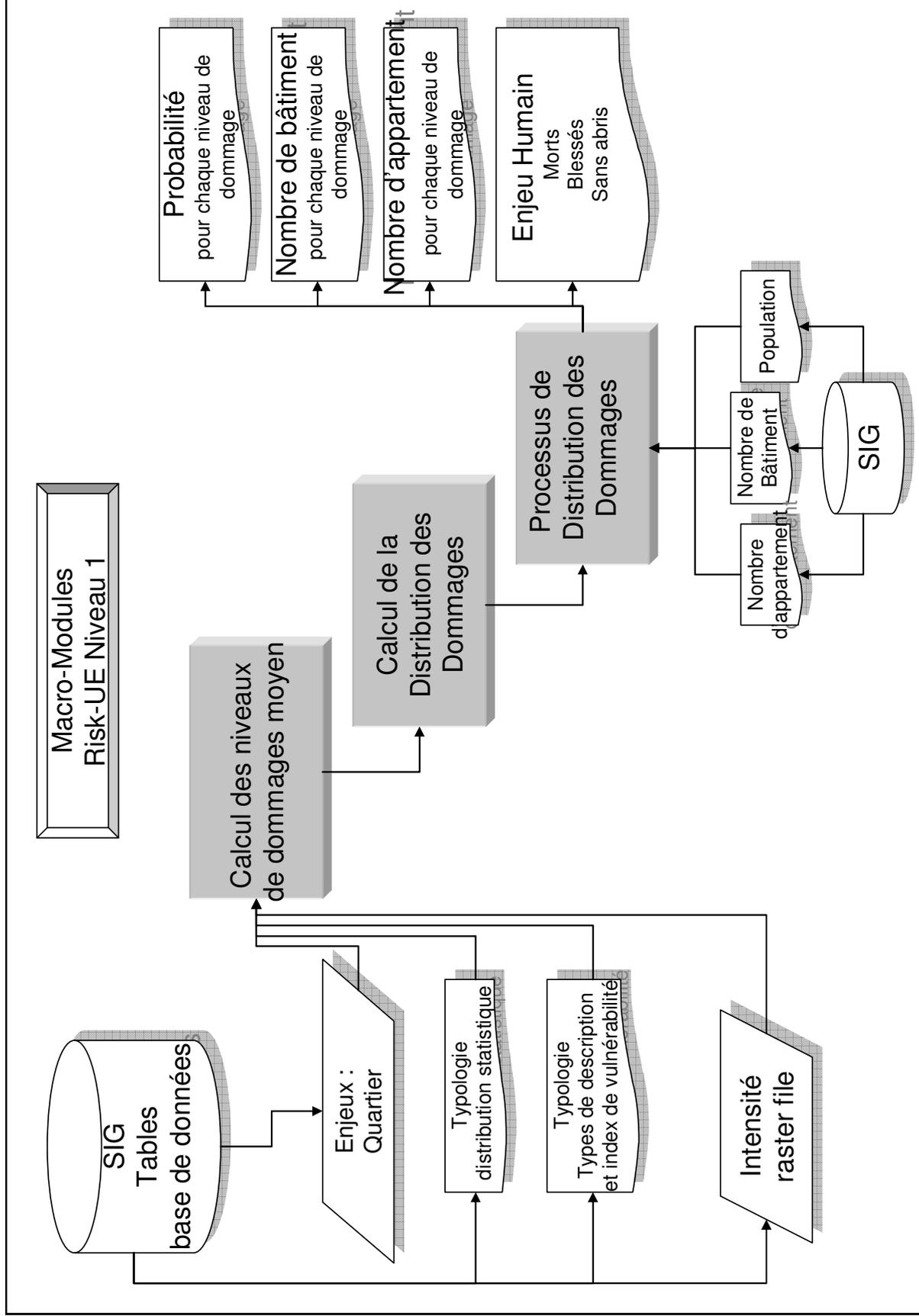


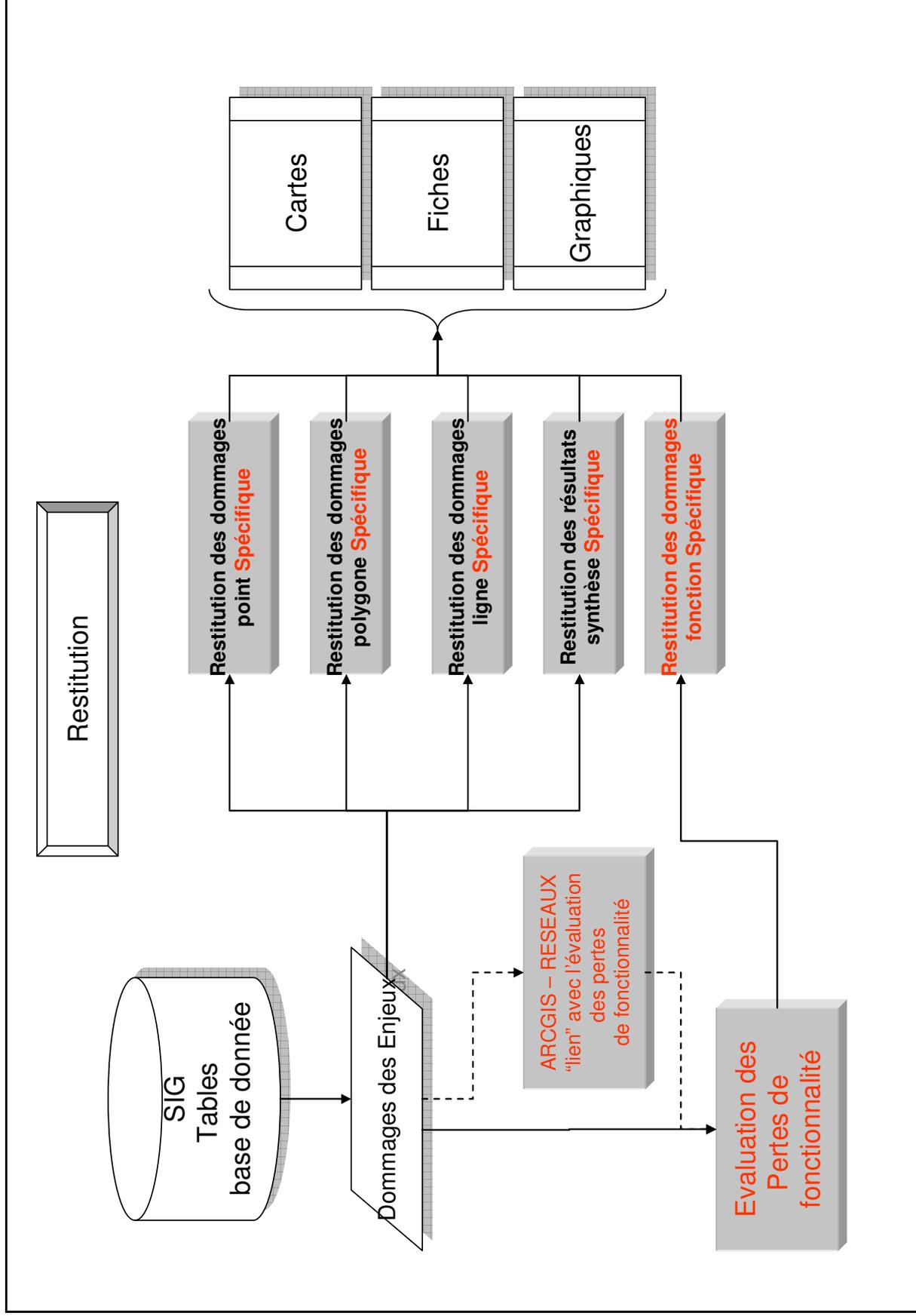














### 4.3. MODULE ENJEUX

L'analyse des enjeux peut se faire de deux façons :

- Soit en modélisant des zones de bâtiment de vulnérabilité homogène. A chaque zone sont associées un nombre de bâtiments, un nombre d'habitants, et le pourcentage de chaque type de bâtiment,
- Soit en modélisant des bâtiments singuliers nécessitant une analyse précise.

**NB :** Des enjeux linéaires, comme des canalisations, des réseaux de transport, etc., peuvent être intégrés dans le logiciel. La représentation des enjeux est illustrée ci-dessous (Figure 4-1 à Figure 4-4)

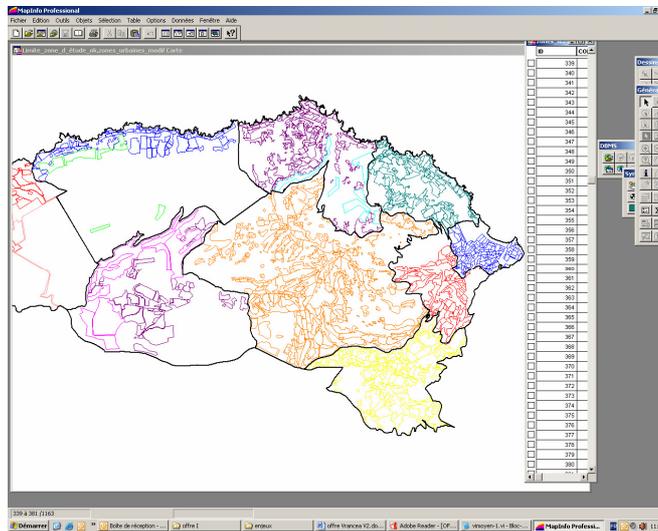


Figure 4-1 Polygone regroupant différents types d'enjeux; MapInfo File

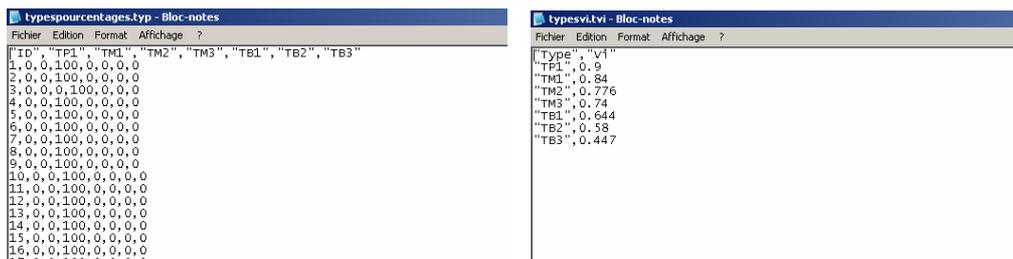


Figure 4-2: Fichiers nécessaires pour l'analyse des enjeux

# Scénario de Crise Sismique

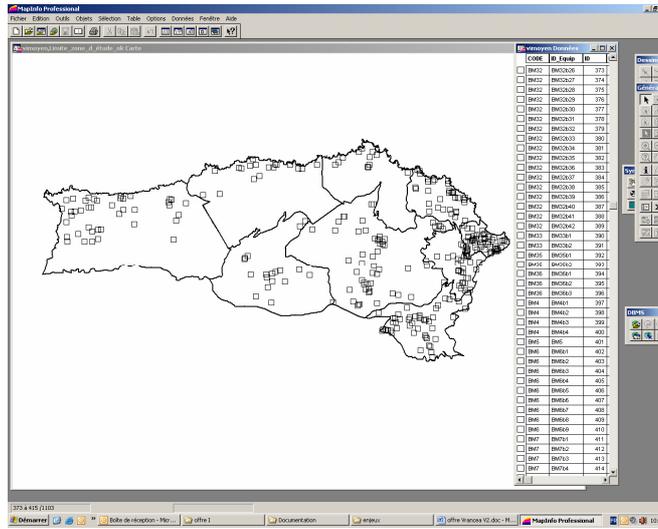


Figure 4-3 Bati individuel provenant d'un fichier MaolInfo

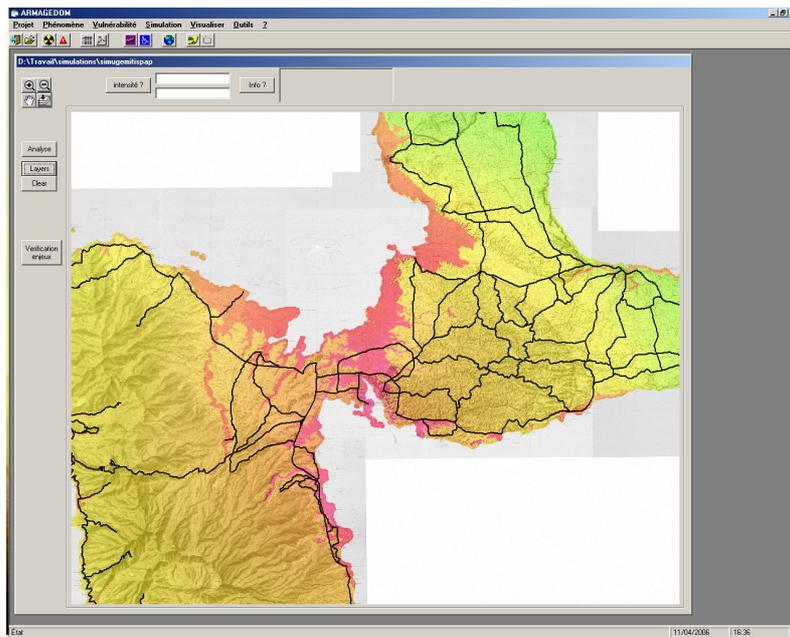


Figure 4-4 Enjeux lineaires

#### 4.4. MODELISATION DES PHENOMENES

Le logiciel incorpore des approches déterministes (Cf. Figure 4-5) et des approches probabilistes (Cf. Figure 4-6) d'agression sismique. L'approche déterministe sera utilisée pour la réalisation de scénarios.

En utilisant le module « phénomène » (Cf. Figure 4-7), une carte d'agression sismique est générée pour le domaine d'étude. Deux modes de visualisation d'agression sont possibles : l'échelle d'intensité macrosismique et l'accélération maximale au sol (PGA). Pour générer cette carte l'utilisateur a besoin d'entrer les données suivantes (Cf. Figure 4-8) :

- la position de l'épicentre,
- la profondeur du foyer,
- une magnitude de moment,
- une loi d'atténuation,
- et, éventuellement, des coefficients d'amplification d'effets de site.

NB : Un module indépendant a été développé pour prendre en compte les effets de site topologiques (Cf. Figure 4-9, Figure 4-10).

Alternativement à la génération de phénomène, le logiciel est structuré pour accepter des cartes d'agression générées extérieurement. Ces cartes externes doivent être créées avec des outils SIG et doivent avoir un format Raster.

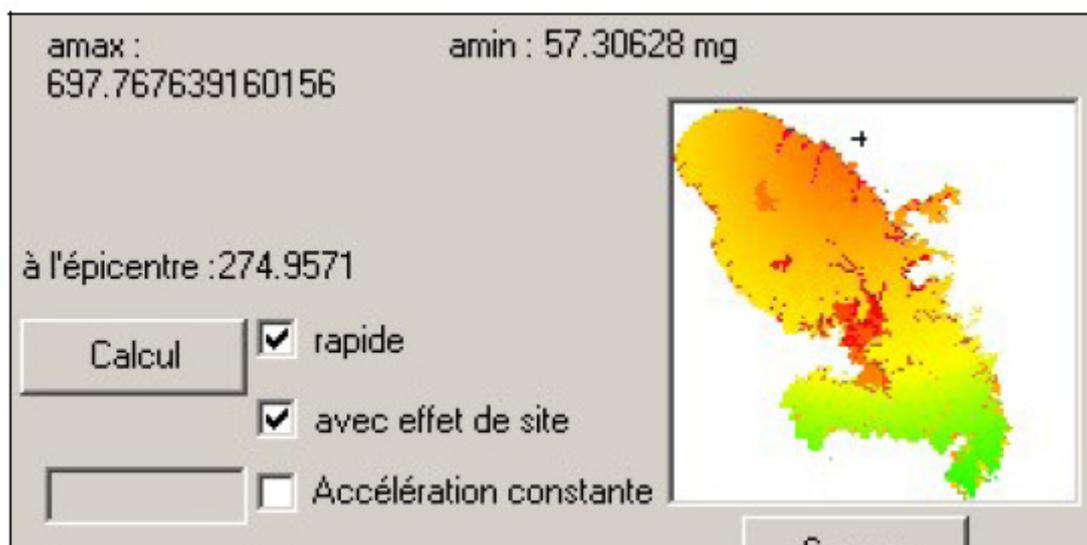


Figure 4-5 PGA - Approche déterministe

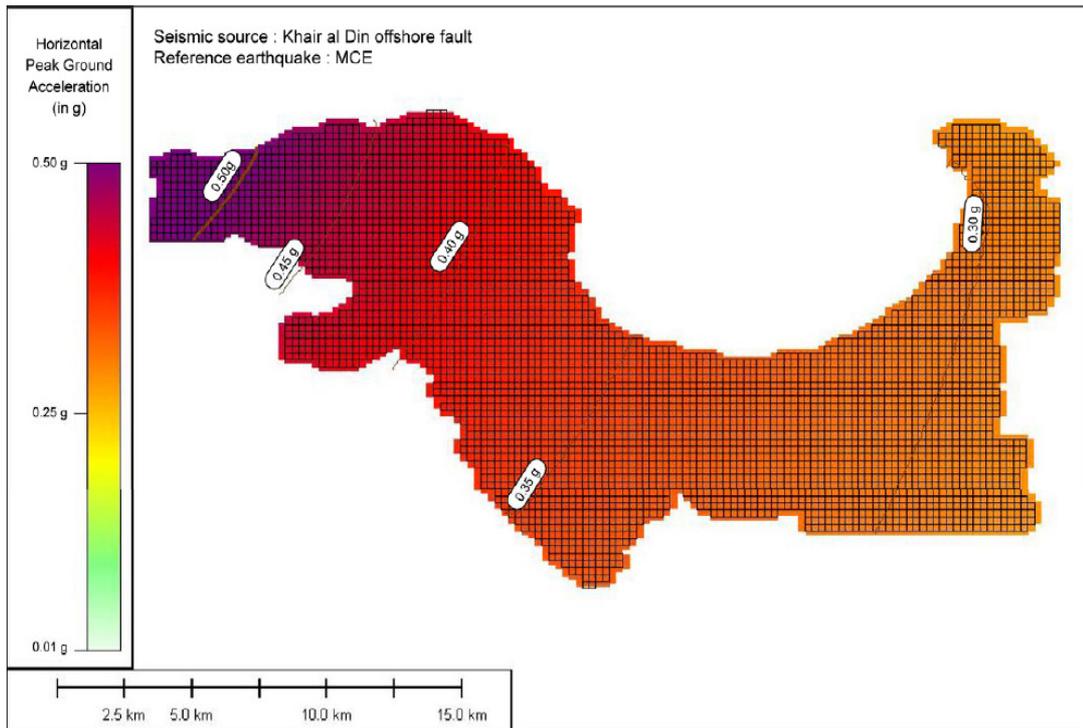


Figure 4-6 PGA - Approche probabiliste



Figure 4-7 Choix du phenomene

Figure 4-8 Données d'entrée caractérisant le phénomène

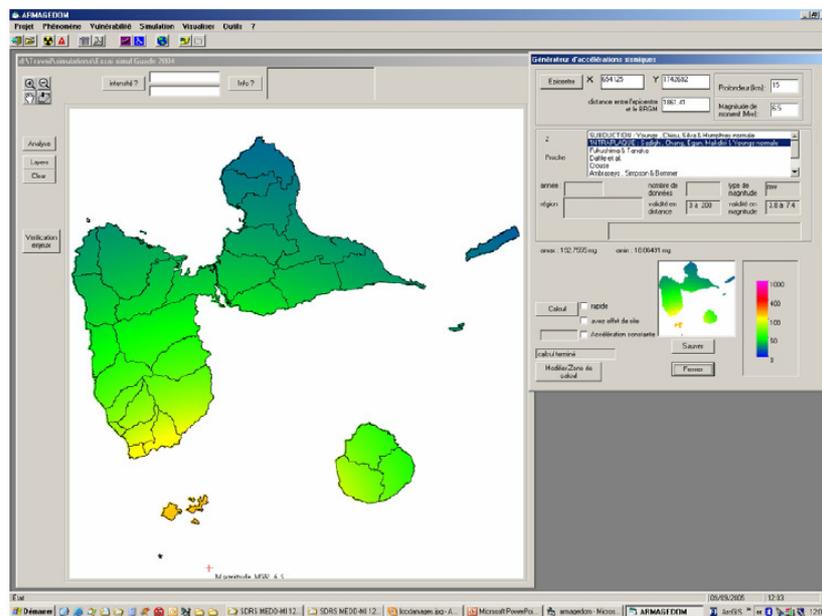


Figure 4-9 Carte d'accélération sans prise en compte des effets de site

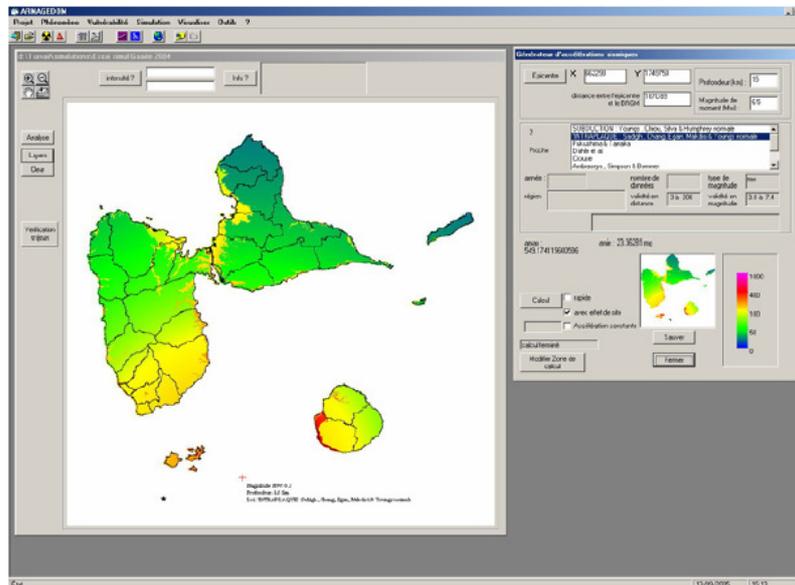


Figure 4-10 Carte d'accélération avec prise en compte des effets de site

## 4.5. MODULE DE LIQUEFACTION

Le module de liquéfaction génère une carte de déplacement maximum (PGD). Les données d'entrée se présentent sous forme de deux grilles (Cf. Figure 4-11) :

- l'une contenant les accélérations du sol,
- l'autre, les différentes zones définissant un pourcentage de surface affectées et un déplacement probable pour une accélération donnée.

Doivent être également associées deux courbes de probabilité / déplacement ainsi que parfois, un coefficient multiplicateur (Cf. Figure 4-12), nécessaire pour ajuster les unités entre les courbes et le fichier de sollicitation sismique.

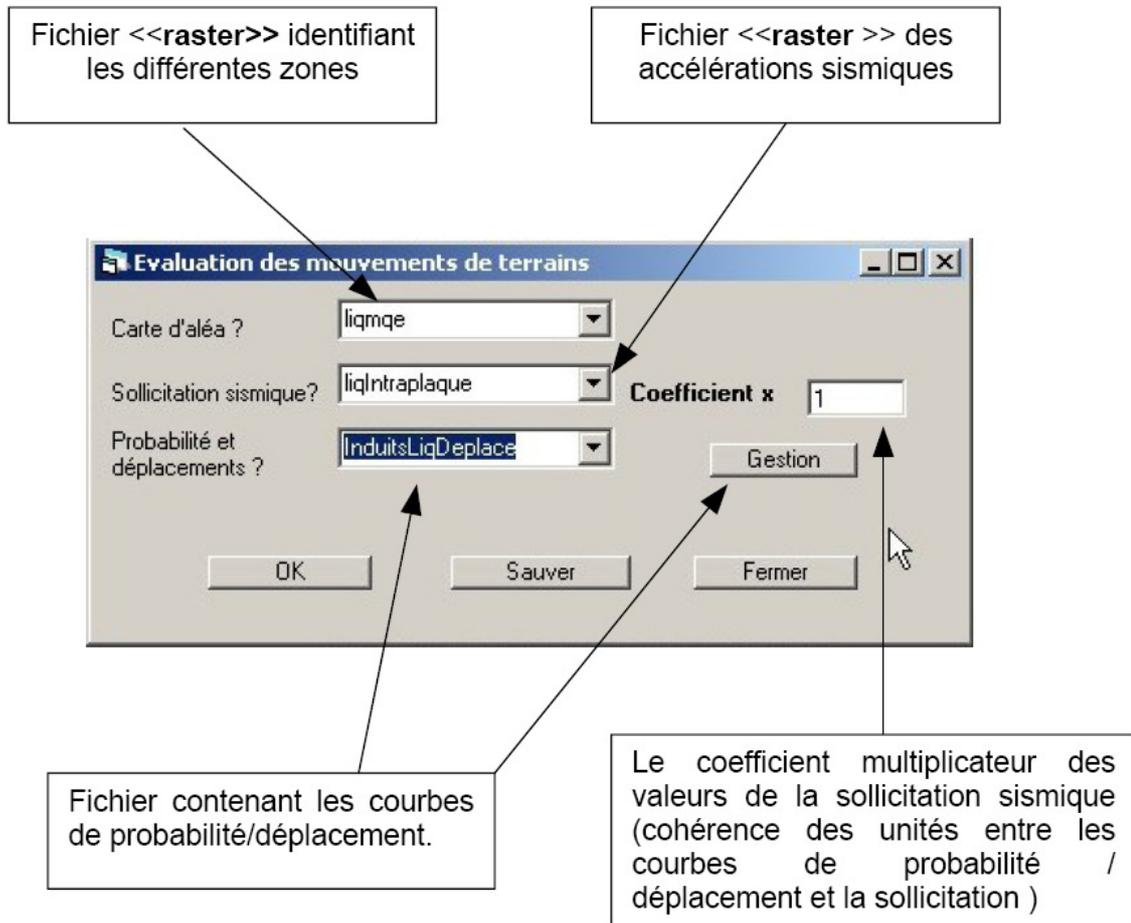


Figure 4-11 Informations nécessaire pour generer le phenomene de liquefaction

# Scénario de Crise Sismique

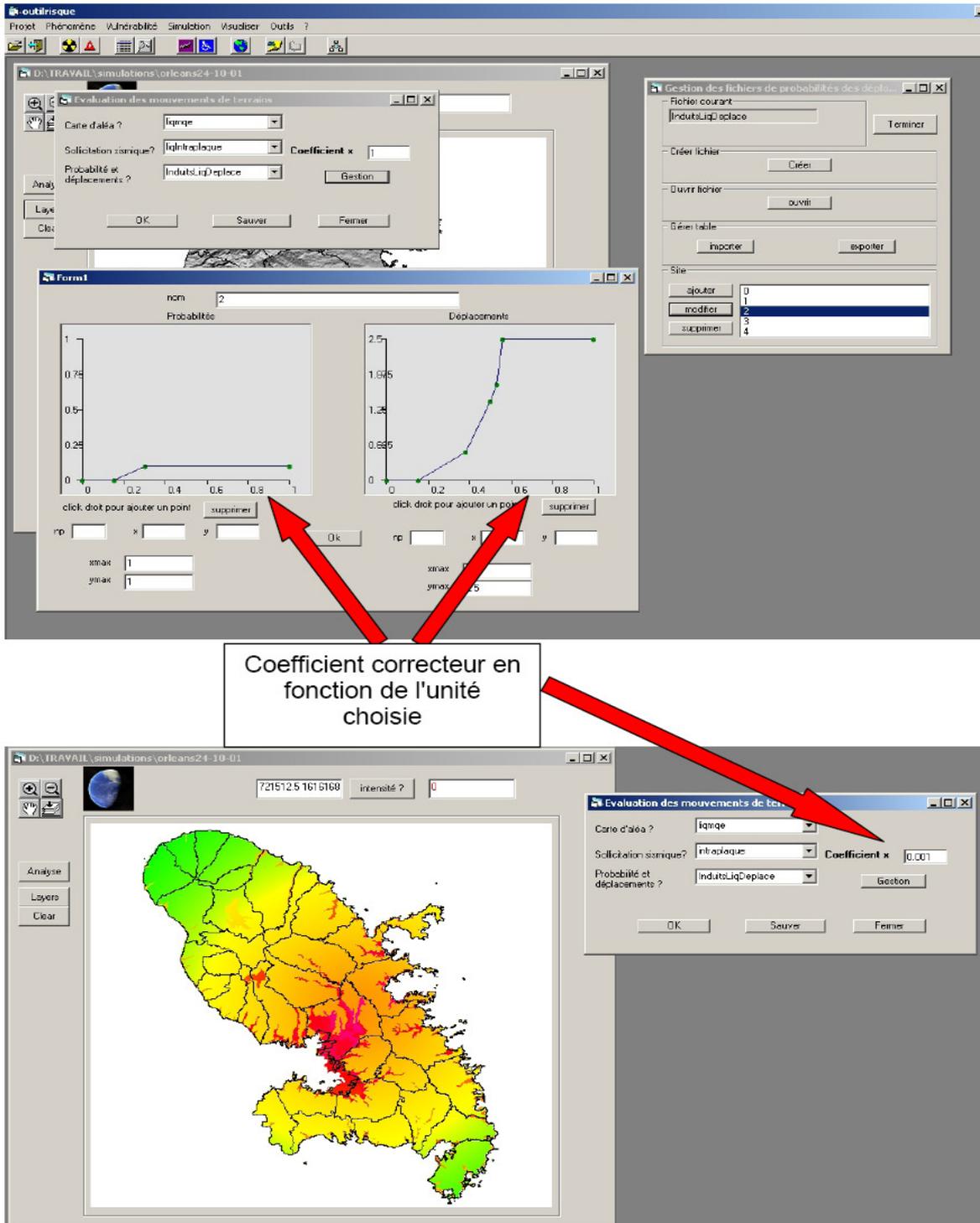


Figure 4-12 Coefficient multiplicateur

## 4.6. MODULE IMPACT

Cette interface permet la gestion des tables de fonctions d'impact de façon identique à l'interface des mouvements de terrain. En effet, il est possible d'importer et d'exporter les données au format texte (.txt), d'ouvrir un fichier binaire (.fnc) de format spécifique à chaque type de fonction ou de le créer à l'aide des boutons <ajouter> et <modifier>. Ce fichier peut contenir plusieurs fonctions du même type.

Comme le montre la Figure 4-13 quatre types de fonctions d'impact sont définis :

- la fonction d'impact « Numérique » (1)
- la fonction d'impact par « Classes » (2)
- la fonction d'impact par « Ré-affectation » (3)
- la fonction d'impact par matrice de « Probabilité » (4).

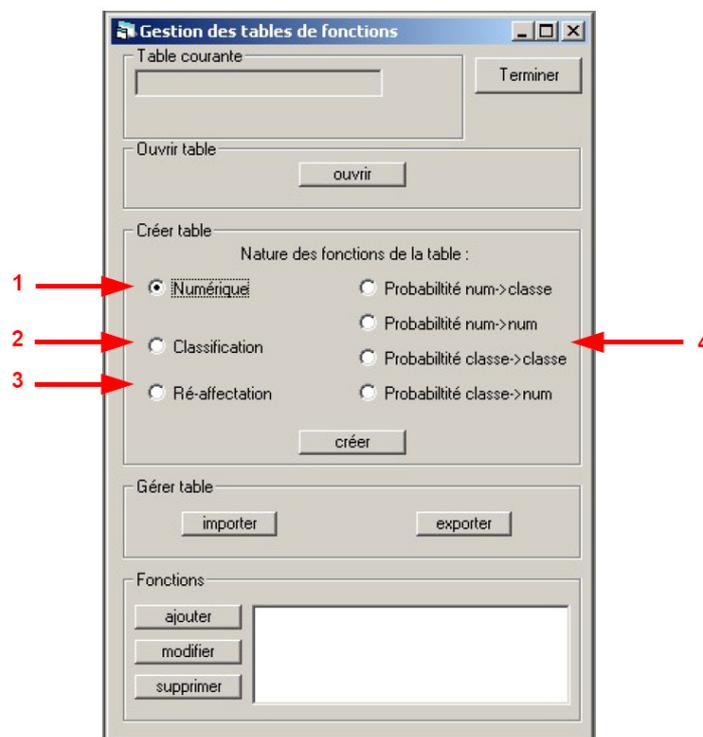


Figure 4-13: Gestion des tables de fonctions d'impact

- La fonction d'impact « **Numérique** » (Figure 4-14) est une fonction qui permet d'associer de manière univoque une valeur d'impact à une valeur numérique. Ce type de fonction est principalement utilisé pour décrire les fonctions dites d'endommagement, qui pour une accélération sismique donnée, font correspondre un pourcentage d'endommagement de l'élément exposé.

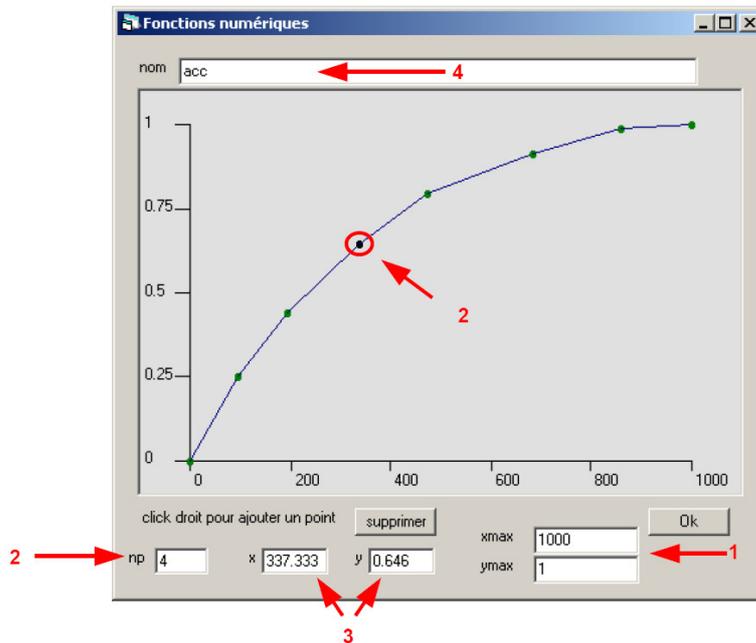


Figure 4-14 Fonction numérique

Le principe de fonctionnement de l'interface graphique est identique à celui du module mouvements de terrain. Les axes sont définis au départ à l'aide des champs **Xmax** et **Ymax** (1). Les points sont ajoutés avec la souris puis sélectionnée et modifiés avec les champs **X**, **Y** (3). Les suppressions de points se font après les avoir sélectionnés et avoir cliqué ensuite sur le bouton **<supprimer>**. La sélection d'un point (2) se fait à l'aide la souris ou en tapant le numéro d'ordre du point dans le champs « **np** ». Le nom de la courbe est à noter (mode création) ou est noté (mode modification) en haut de l'interface (4).

- La fonction d'impact par « **Classes** » (Figure 4-15), associe une valeur ou un nom à un intervalle de valeur de taux d'endommagement ou d'impact.

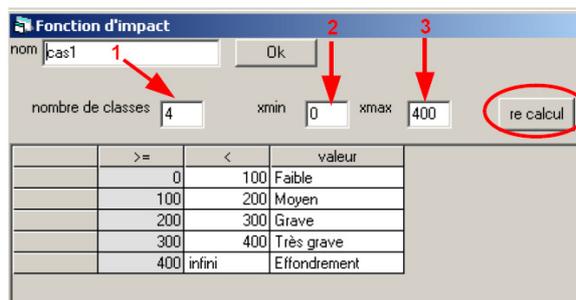


Figure 4-15 Fonction « Classes »

Les données se présentent sous forme d'un tableau. La création ou suppression des valeurs se fait en redéfinissant le nombre de classes (1) et les valeurs minimales (2) et maximales (3) des bornes inférieures et supérieures en cliquant ensuite sur le bouton <calcul>.

- La fonction d'impact par « **Ré-affectation** » (Figure 4-16) qui permet de donner des équivalences entre des valeurs ou des classes.

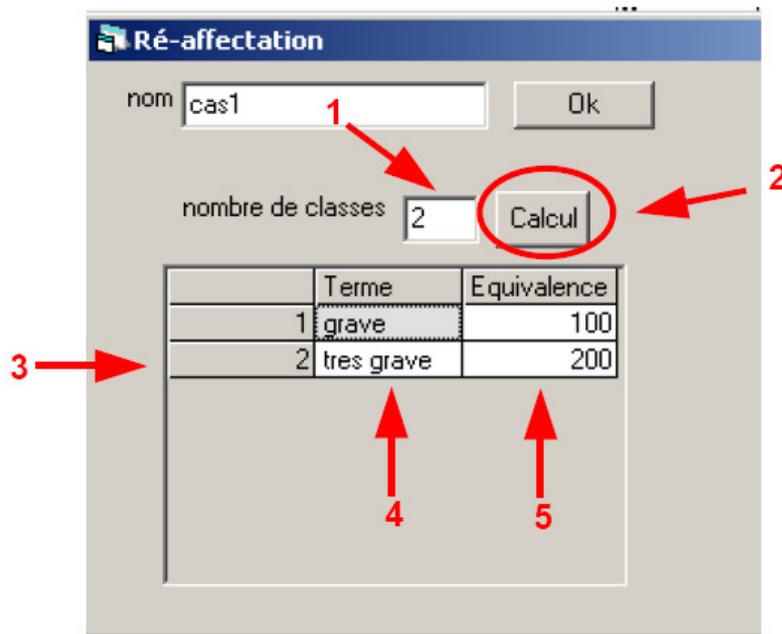


Figure 4-16 re-affectation

Cette interface permet de remplacer un ou plusieurs termes par d'autres. Les données se présentent comme précédemment sous forme d'un tableau dont le nombre de classes (lignes du tableau) peut être redéfini à l'aide du champ <<nombre de classes>> (1) puis du bouton <<Calcul>> (2) sur lequel il faut cliquer pour régénérer un nombre de ligne adéquat (3). La colonne appelée <<Terme>> (4) affiche les termes à corriger, la colonne <<Equivalence>> (5) affiche les termes modifiés.

- La fonction d'impact par matrice de « **Probabilité** » (Figure 4-17) associe des répartitions selon des classes de valeurs ou de noms, à des valeurs de taux d'endommagement ou d'impact.

Figure 4-17 Matrice des fonctions <probabiliste>

Les interfaces de saisie pour les fonctions d'impact par matrice de « **Probabilité** » sont toutes basées sur le même principe. Elles se présentent sous forme d'un tableau à double entrée; il faut donc redéfinir le nombre de classes ou valeurs nécessaires en entrée (1) qui est 3 par défaut et le nombre de valeurs ou de classes en sortie (2) qui est 4 par défaut, puis de cliquer sur le bouton <<calcul>> (3).

Les termes en entrée sont à saisir sur la première ligne des 3 dernières colonnes (4) et les termes en sortie à partir de deuxième ligne de la première colonne (5). Pour chaque entrée et sortie de données, on fait ensuite correspondre une probabilité.

#### 4.7. AFFECTATION D'IMPACT

L'interface qui permet d'affecter une vulnérabilité aux éléments exposés et de sauvegarder ces résultats dans un fichier texte (10), est présentée Figure 4-18 ci-dessous.

L'affectation d'une vulnérabilité ou d'un impact (1 ou 2, 3, 4, 7) à des éléments exposés (5, 6) peut être réalisée de manière déterministe ou aléatoire (8). Cette dernière façon permet d'introduire des résultats statistiques lorsque l'on ne connaît que les proportions des types d'enjeux sans connaître leur répartition exacte (ex de l'utilisation du recensement INSEE qui dénombre le type de logements par commune). Le mode déterministe ou le mode aléatoire permet ensuite d'affecter une ou des types de fonctions à la totalité (9-3) des enjeux ou au résultat d'une sélection graphique (9-1) ou thématique (9-2).

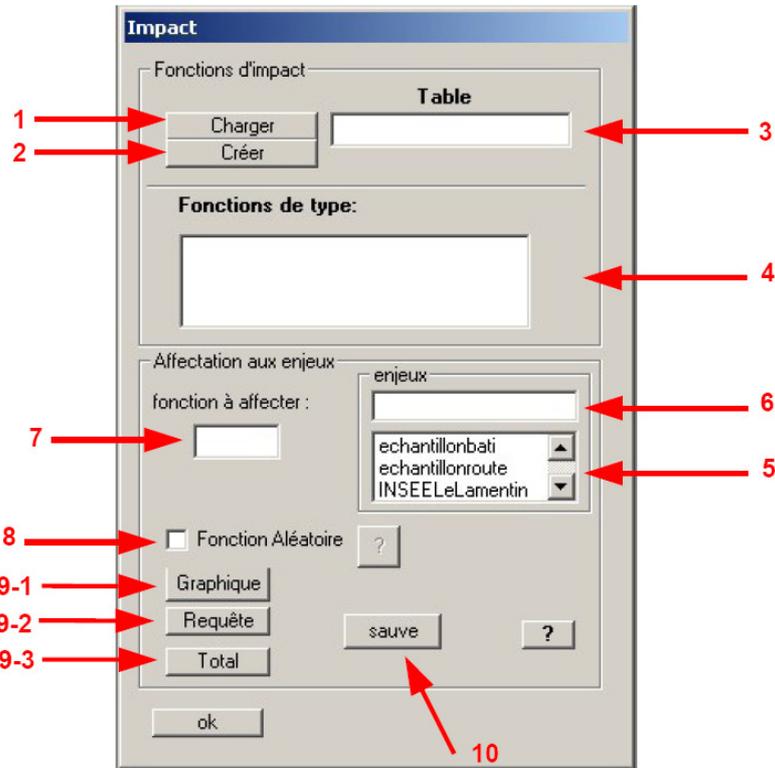


Figure 4-18 Affectation des impacts aux enjeux

#### 4.8. MODULE DE SIMULATION

Ce module évalue l'endommagement de chacun des enjeux, caractérisés par une fonction d'endommagement et exposés à un phénomène d'intensité donnée préalablement calculée. Il estime les conséquences de l'endommagement ou d'impacts amont vis-à-vis d'éléments exposés à un scénario sismique.

La simulation se réalise donc par étape :

- Le calcul des intensités d'un phénomène donné que peuvent subir les éléments exposés,
- Le calcul des endommagements ou directement des impacts à partir des résultats de ce premier calcul, des éléments exposés et des fonctions d'impact choisies,
- Le calcul d'impact si nécessaire à partir des résultats précédents en choisissant une nouvelle fonction d'impact à associer aux éléments exposés.

## 4.9. RESTITUTION DES RESULTATS

L'exploitation des résultats obtenus se fait essentiellement à l'aide d'outils externes à Armagedom. Les fichiers texte constitués de l'identifiant des enjeux et des résultats correspondants, peuvent ensuite être associés à des objets SIG pour une représentation cartographique des résultats ou être analysés à l'aide d'outils de synthèse pour présenter les résultats sous forme de diagrammes globaux.

Les résultats d'impact peuvent également être exploités à l'aide d'outils externes adaptés, pour estimer les dysfonctionnements engendrés et les solutions à apporter (réseau fonctionnel d'une ville ou d'une région..), en terme de secours (court terme) ou d'aménagement (à moyen et long terme).

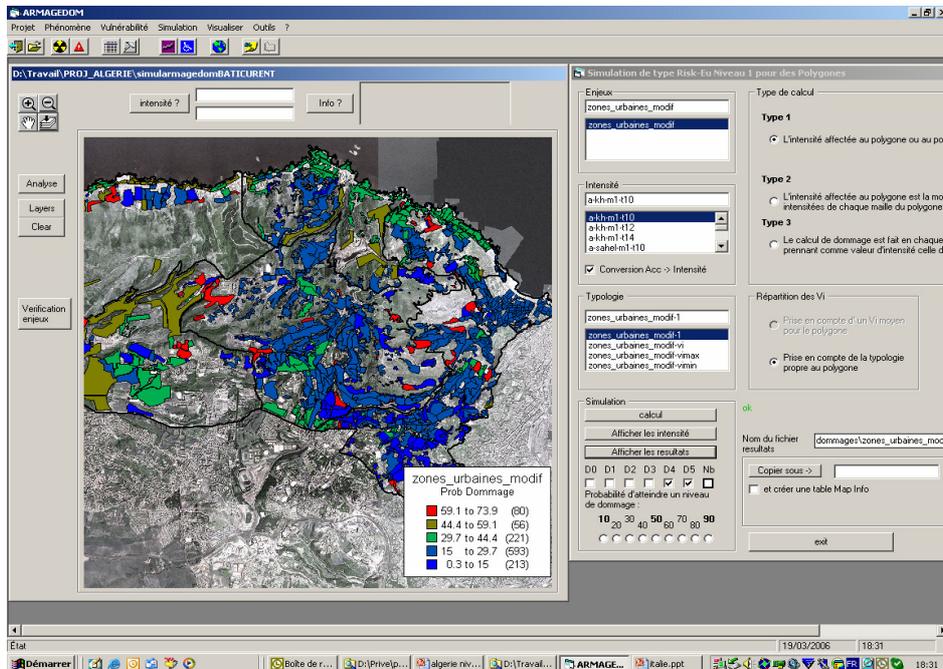


Figure 4-19 Untreated results: probability of reaching or exceeding certain damage grade

## Scénario de Crise Sismique

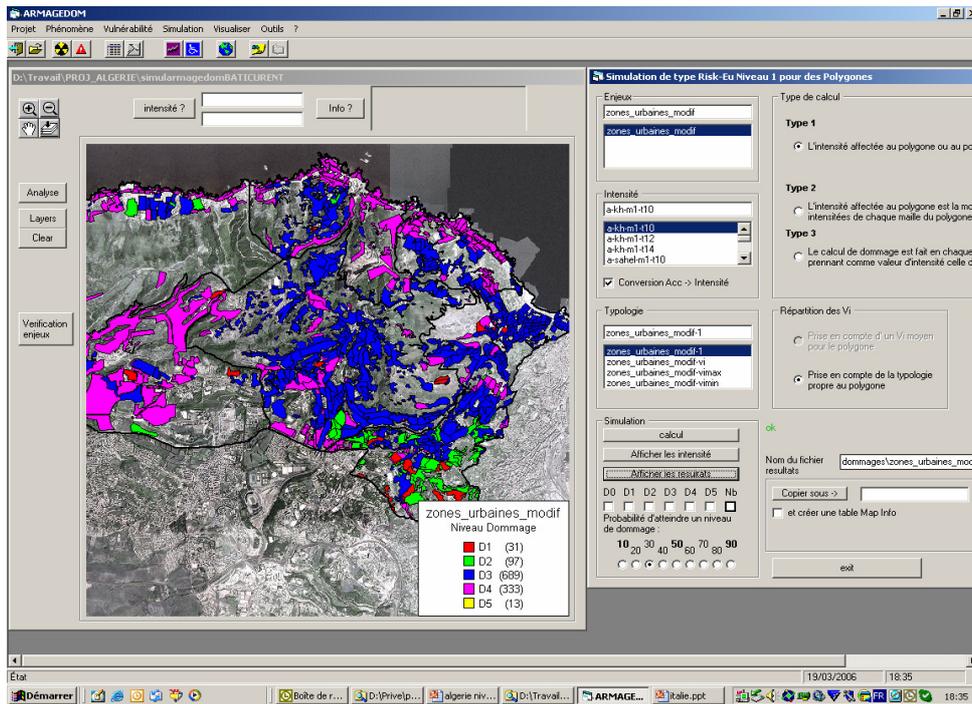


Figure 4-20 Untreated results: probability superior at 30% of being in indicated damage grade

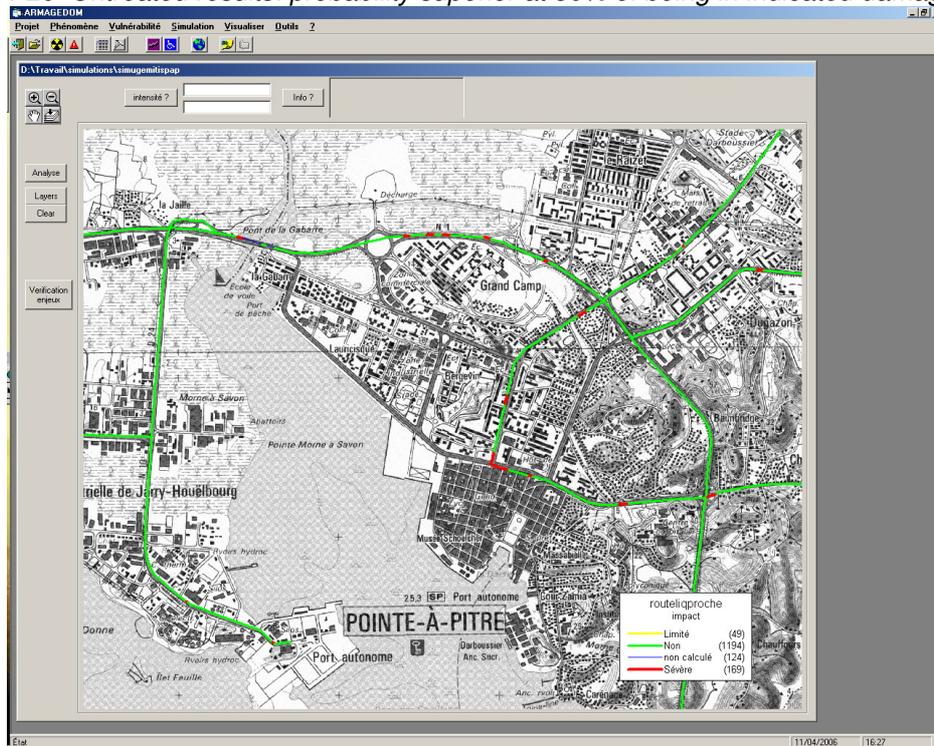


Figure 4-21 Untreated results indicating the damage grade for linear exposed elements

Scénario de Crise Sismique

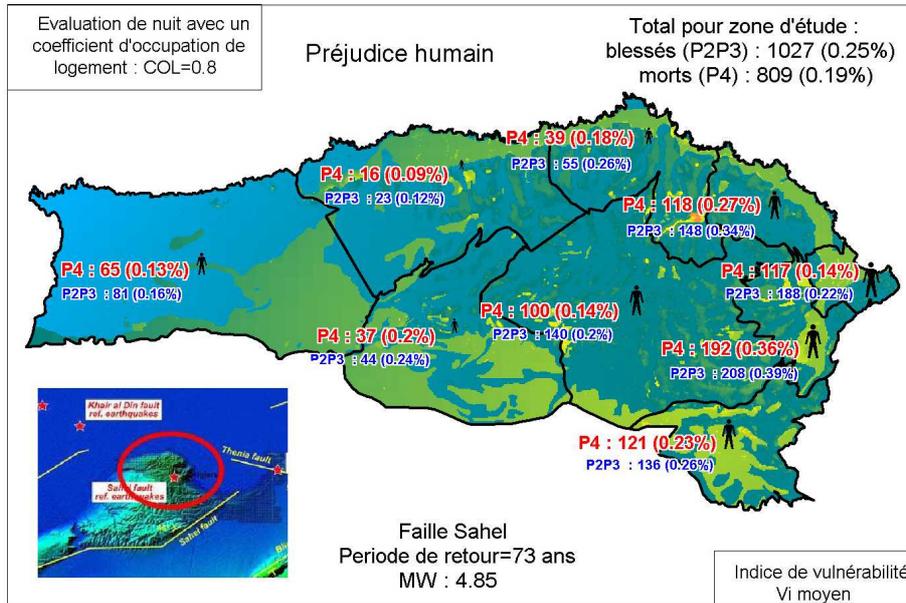


Figure 4-22 Treated results using GIS system: dead/injured population synthesis by countries (Algerian project)

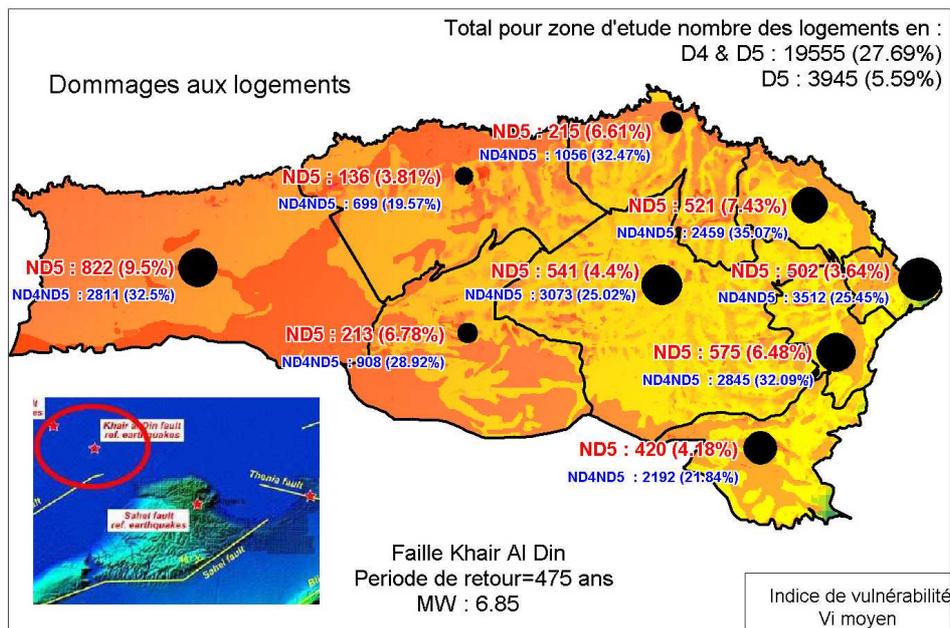


Figure 4-23 Treated results using GIS system: damaged buildings synthesis by countries (Algerian project)

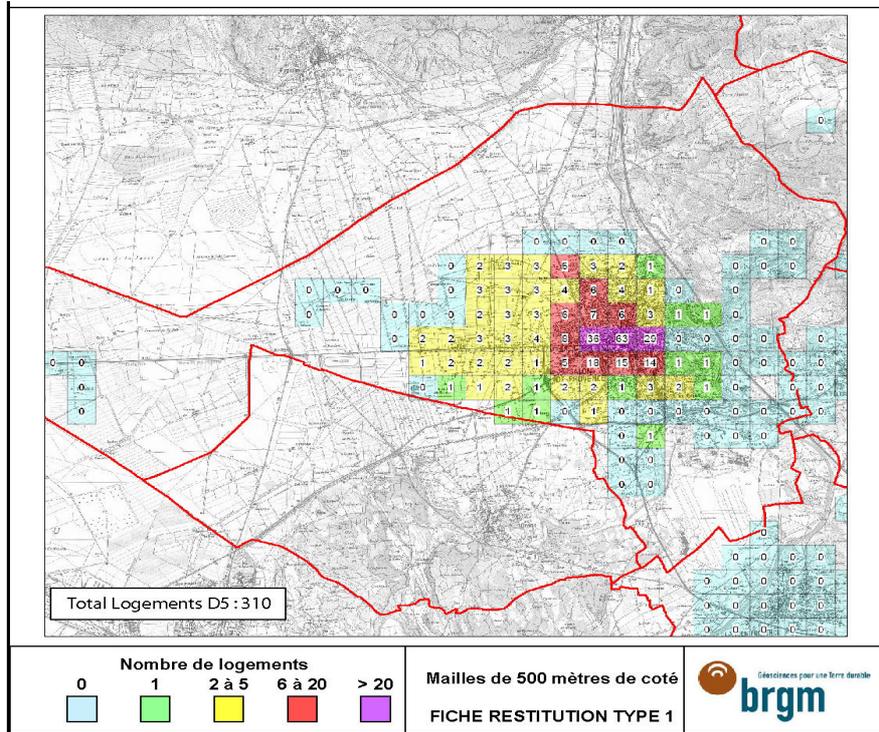


Figure 4-24 Treated results using GIS system: Department Seismic Risk Scenarios

## **5. Annexe 2**

# **Analyse de vulnérabilité des Systèmes de transport**

NB : Tout au long de ce chapitre, nous nous référerons souvent au terme « courbe de vulnérabilité » dont sa définition est la suivante : Les courbes de vulnérabilité pour chacun des trois composants du système « routes, ponts, tunnels » sont modelées en tant que fonctions lognormal et donnent la probabilité d'atteindre ou d'excéder différents états de dommages pour un niveau donné d'accélération ou de déplacement du sol. Chaque courbe de fragilité est caractérisée par une valeur médiane (accélération ou déplacement du sol) et d'un facteur de dispersion (écart type lognormal). L'accélération est mesurée en termes d'accélération maximale du sol (PGA) et accélération spectrale (SA). Les ruptures de sol sont mesurées en termes de déplacement permanent du sol (PGD).

**NB** : Les figures sont essentiellement tirées des rapports RISK-UE (WP1 à 14), BRGM/RP-52760-FR Février 2004 et HAZUS (Technical Draft : « Hazard US » : FEMA's software program for estimating potential losses from disaster). Les légendes en anglais n'ont pas toujours été traduites.

## **Les Chaussées**

- **Les Routes**

### DESCRIPTION

L'expérience des tremblements de terre passés indique que les chaussées peuvent subir deux types de dommages : directs et indirects. Cependant, les routes régionales (autoroutes, etc.) semblent être plus vulnérables aux dommages directs, alors que les rues urbaines sont principalement affectées par des dommages indirects.

### PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES

Les dommages directs sur des routes peuvent être provoqués par des ruptures de sol dues aux liquéfactions, aux éboulements ou à la présence d'une faille. Les dommages directs les plus communs affectant des routes sont les déplacements permanents du sol (PGD) et les éboulements. L'affaissement et les fissures des routes sont dus à des écartements latéraux du sol ou à la présence de sols liquéfiables. Les secteurs ruraux sont principalement affectés par les glissements de terrain dus aux liquéfactions (cas des Antilles) ou aux éboulements (Cf. Figure 5-1). Un milieu montagneux sera par contre très exposé aux éboulements de terrain amont ou aval.

*Figure 5-1 Glissements de terrains – Praticabilité de la chaussée*





Les dommages indirects incluent la présence d'obstacles d'autres constructions tombées sur la chaussée. Les débris de bâtiments effondrés ou endommagés en font partie. La menace de l'impraticabilité des chaussées due aux effondrements de bâtiments est une source d'intérêt particulier dans les secteurs urbains denses.

Tableau 5-1 Les niveaux de dommages, directs ou indirects

Praticabilité	Niveau de dommage	Dommages Directs	Dommages Indirects
Entièrement fermé en raison de réparations provisoires (quelques jours à quelques semaines) - Partiellement fermé pour le trafic en raison de réparations permanentes (quelques de semaines à quelques de mois)	Etendu	Failles importantes ou excentration supérieures à 60 cm	Débris considérables de structures effondrées
Entièrement fermé en raison de réparations provisoires (quelques de jours) - Partiellement fermé pour le trafic en raison de réparations permanentes (quelques de semaines)	Modéré	Failles moyennes ou excentration de 30 cm à 60 cm	Quantité modérée de débris de structures effondrées.
Ouvert au trafic mais vitesse réduite durant les réparations.	Mineur	Failles mineures ou excentration inférieures à 30 cm	Quantité mineure de débris de structures effondrées
Ouvert au trafic	Néant	/	Pas de débris

**VULNERABILITE DES ROUTES**

**En cas de rupture du sol**

Comme première approximation, la localisation et l'intensité du PGD induit par liquéfaction peuvent donner une idée des conséquences attendues (ex. capacités du trafic).

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) sont fournies par le modèle de vulnérabilité 1, Hazus '99. Elles prennent en comptes :

- La typologie (route principale ou urbaine);
- Les dommages, conséquences ou pertes possibles;
- Le Déplacement Permanent du Sol (PGD).

On supposera que les routes principales correspondent aux autoroutes et aux artères principales, alors que les routes urbaines correspondent aux autres catégories.

**NB : La taille de la route n'aura a priori pas d'effet sur l'importance de son utilisation en cas de situation de crise. Une route de campagne pourra être toute aussi importante qu'une autoroute pour acheminer les secours aux endroits stratégiques.**

Tableau 5-2 Parametres et Niveaux de dommages des routes

Typologie	Niveau de Dommages	Médiane PGD (m)	Dispersion ( $\beta$ )
Autoroutes et rues artérielles (Fig. 2.5.1-2)	Etendu / Complet	1.5	0.7
	Modéré	0.6	0.7
	Mineur	0.3	0.7
Artères secondaires, rues locales (Fig. 2.5.1-3)	Etendu / Complet	0.6	0.7
	Modéré	0.3	0.7
	Mineur	0.15	0.7

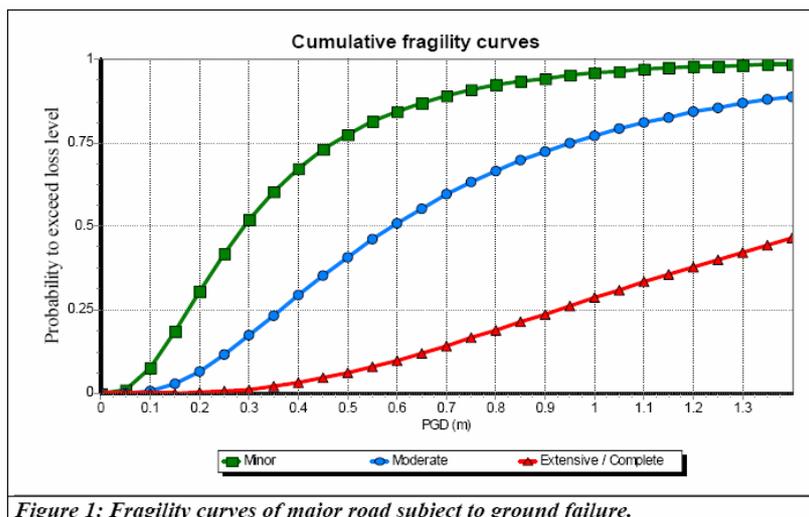


Figure 5-2 Courbe de vulnérabilité pour les routes majeures

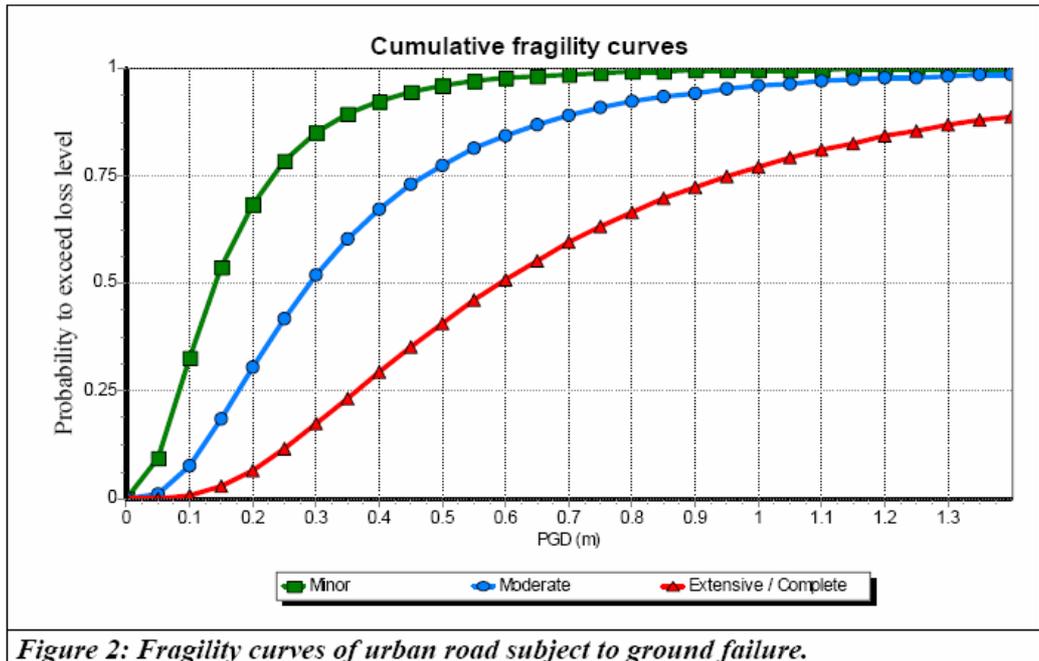


Figure 5-3 Courbe de vulnérabilité pour les routes secondaires

### En cas d'obstruction

Particulièrement en contexte urbain, les dommages sérieux des bâtiments peuvent causer des débris fermant la route. Ainsi, il est nécessaire de comparer les largeurs entre les routes et les gisements de débris. En ce qui concerne la praticabilité de la chaussée, la largeur de la route est un paramètre important pour estimer l'impact des débris. La distance entre le bâtiment et la route est aussi à prendre en compte.

Une première approximation de l'étendue des débris est estimée en corrélant cette dernière avec la hauteur du bâtiment (Figure 5-4 Application à des bâtiments en Béton Armé entièrement détruit).

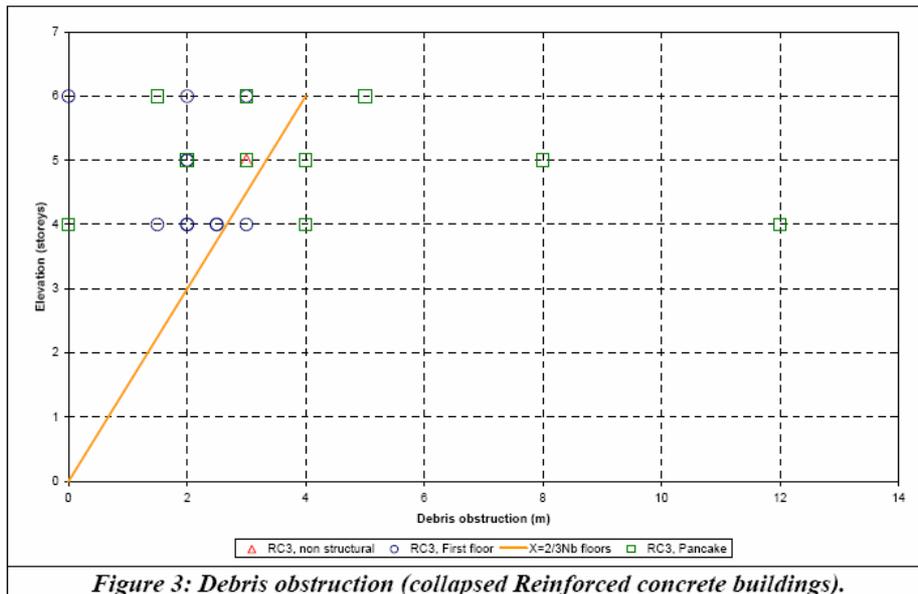


Figure 5-4 Application à des bâtiments en Béton Armée entièrement détruit

Une approche analytique plus complexe réalisée sur des bâtiments en maçonnerie permet d'obtenir des résultats similaires. (L représente la longueur du bâtiment)

Cas A : Bâtiment confiné sur 3 côtés

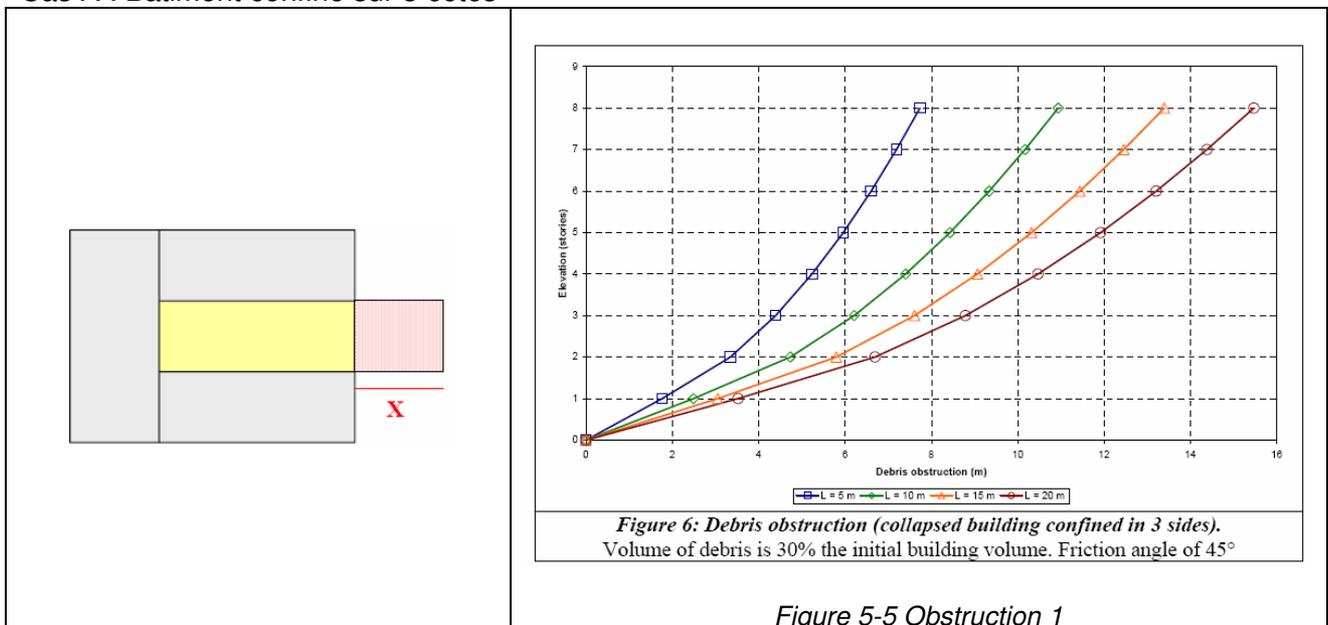
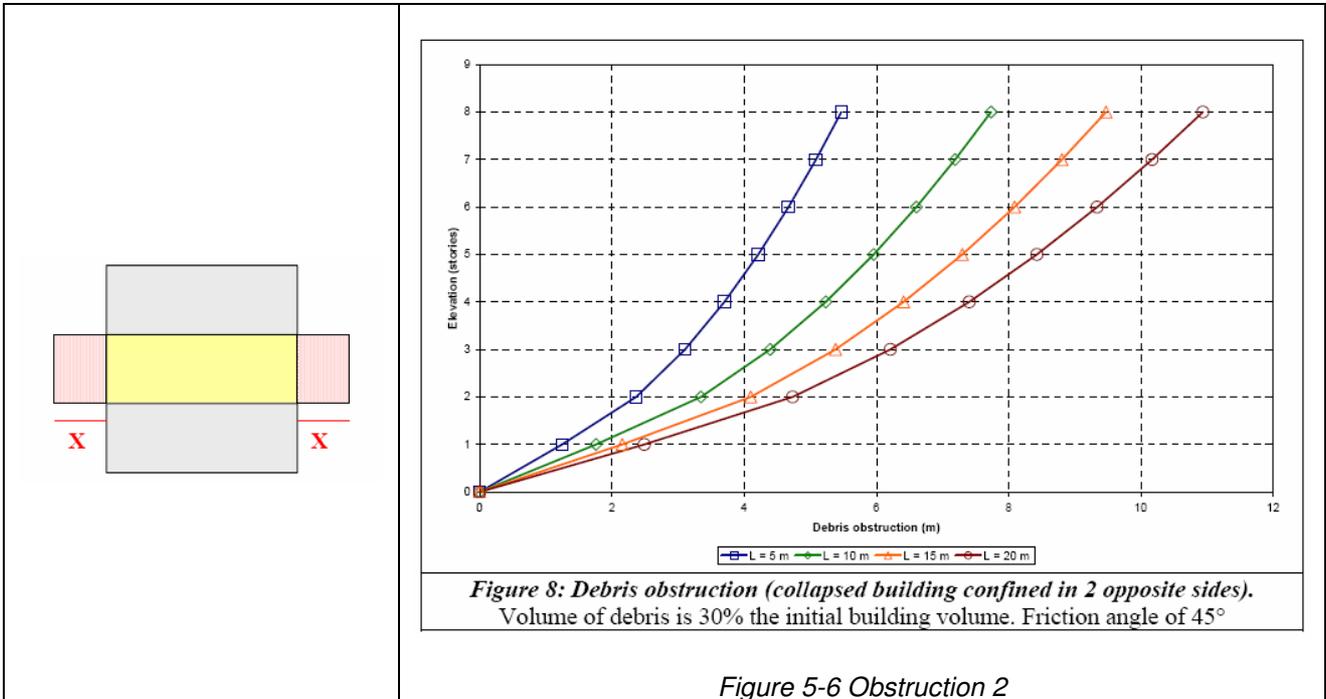
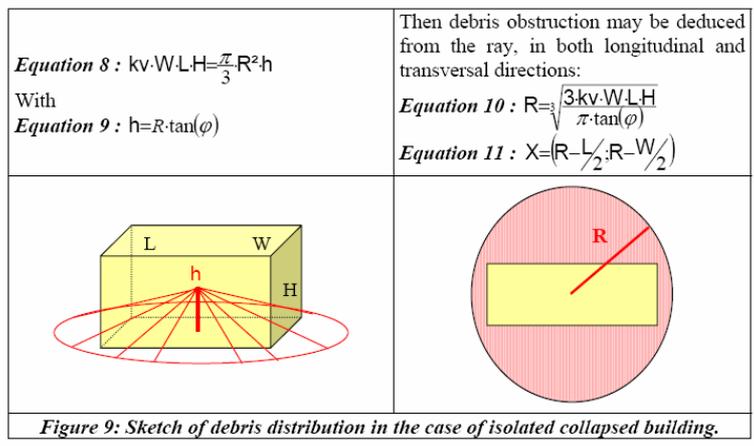


Figure 5-5 Obstruction 1

Cas B : Bâtiment confiné sur 2 côtés



Cas C : Bâtiment isolé



*Figure 5-7 Obstruction 3*

- **Les ponts**

### DESCRIPTION

Les ponts sont des composants critiques dans un système de chaussée car souvent employées pour franchir une vallée, un fleuve ou une autre chaussée. Les dommages ou la fermeture d'un pont peuvent engendrer la rupture du réseau de transport.

### TYPLOGIE

La typologie des ponts peut être basée sur les attributs suivants :

- Type de matériel (acier, béton, bois de construction, maçonnerie);
- Type structurel (suspendu, voûte, dalle, mixte etc.);
- Type de pilier (simple, multiple, etc.);
- Continuité (appui continu/simple);
- Année de construction (code);
- Nombre de travées (simple/multiple);
- Longueur des travées;
- Longueur;
- Nombre de joints de dilatation;
- Type des fondations

Les classifications les plus importantes de typologie de ponts qui ont été développées jusqu'à présent sont les suivantes :

- Inventaire national des ponts des États-Unis (NBI, 1988), basé sur le type de matériau et sur la superstructure;
- Hazus '99, 28 catégories des ponts basés sur les matériaux de construction, le niveau de conception, le nombre de travée, le type de pilier, la continuité des travées.
- Basoz et Kiremidjian, (1996), 18 catégories des ponts en béton basés sur le type de butée, la continuité des travées et le mode de fonctionnement des piliers.
- I.Q.O.A (France-SETRA), basé sur la typologie et le type structurel.

Il est à noter qu'une classification minimale de typologie pour la suite de l'étude est prise compte. Elle regroupe les facteurs primordiaux : le matériau de construction, le mode de fonctionnement des piliers (Flexion, compression...), la continuité des travées et la conception (Hazus '99, Tableau 5-3 Typologie des Ponts).

*Tableau 5-3 Typologie des Ponts*

Matériau	Type de piliers	Continuité des travées	Conception	Catégorie
Tous	Simple travée	-	Conventionnel	1
			Séismique	2
Ponts en Béton	Simple	Support Simple	Conventionnel	3

	Continu	Séismique	4	
		Conventionnel	5	
		Séismique	6	
	Multiple	Support Simple	Conventionnel	7
			Séismique	8
		Continu	Conventionnel	9
Ponts en Acier	Multiple	Support Simple	Conventionnel	11
			Séismique	12
	Tous	Continu	Conventionnel	13
			Séismique	14
	Autre			15

**PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES**

Les dommages de ponts observés lors de récents tremblements de terre sont généralement attribués à une ou plusieurs causes :

- Décrochage du tablier du à l'endommagement des appuis latéraux, déplacements permanents des culées;
- Effondrement des poutres du à des largeurs d'appui insatisfaisantes;
- Rupture des piliers due au cisaillement excessif ou à de fortes demandes de flexion engendrée par les oscillations;
- Rupture des fondations due à la demande excessive de flexion ou de cisaillement.

Tableau 5-4 Description des dommages

Description des Dommages (Hazu '99)	
Complet	Piliers en cours d'effondrement et/ou perte de connexion au niveau des travées qui peuvent engendrer un effondrement imminent des travées ; inclinaison de la sous structure due à la rupture des fondations.
Etendu	Toute colonne endommagée sans effondrement - rupture par cisaillement - (équilibre structurel peu sûre), mouvement résiduel significatif aux raccordements, tassement de l'accès au pont, décalage verticale de la culée, tassement différentiel aux raccordements, cisaillement aux niveaux des culées
Modérée	Toute colonne ayant des fissures de cisaillement ou des effritements modérées (colonne structurellement fonctionnelles), déplacement modéré de la culée (< 5cm), tout raccordement ayant des clavettes de cisaillement ou des boulons pliés, tassement modéré de l'accès au pont
Mineur	Fentes mineures et effritement de la culée,

	effritement mineur et fissures aux articulations, effritement mineur des colonnes (les dommages n'exigent pas plus qu'une réparation esthétique), fentes mineures du tablier
Aucun	/

### VULNERABILITE DES PONTS

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les ponts sont fournies par Hazus '99. Elles prennent en comptes :

- La typologie;
- Les dommages, conséquences ou pertes possibles;
- L'angle oblique ( $\alpha^2$  - c'est l'angle entre les membres longitudinaux d'un pont et la sous structure), longueur du pont (L), le nombre de travées (N) et la largeur des travées (W), (Cf. tableau 3);
- L'accélération spectrale (SA), à 0,3 et à 1,0 s (Cf. Modèle de Vulnérabilité 2, Hazus '99);
- Le déplacement permanent du sol (Cf. Modèle de Vulnérabilité 3, Hazus '99).

Tableau 5-5 Prise en compte des caractéristiques spécifiques

Skew angle ( $K_{skew}$ )	3-dimensional arch action in the deck ( $K_{3D}$ )						
	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
$\sqrt{\sin(90-\alpha)}$	$1+\frac{0.25}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.05}{N}$	$1+\frac{0.20}{N-1}$	$1+\frac{0.10}{N}$

Tableau 5-6 Modèle de Vulnérabilité 2 : Ponts soumis à une accélération spectrale (SA)

Typology	Damage state			
	Minor	Moderate	Extensive	Complete
Category	Median SA at 1.0 s (g) with $\beta=0.6$			
1-2	$0.8 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$1.0 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.2 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.7 \times K_{skew} \times EQ1$
3	0.25	$0.35 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.45 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.70 \times K_{skew} \times EQ1$
4	0.50	$0.80 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.70 \times K_{skew} \times EQ1$
5	0.35	$0.45 \times K_{skew} \times EQ2$	$0.55 \times K_{skew} \times EQ2$	$0.80 \times K_{skew} \times EQ2$
6	0.60	$0.90 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.30 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.60 \times K_{skew} \times EQ3$
7	0.25	$0.35 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.45 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.70 \times K_{skew} \times EQ1$
8	0.50	$0.80 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.70 \times K_{skew} \times EQ1$
9	$0.60 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90 \times K_{skew} \times EQ2$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ2$	$1.50 \times K_{skew} \times EQ2$
10	$0.90 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.50 \times K_{skew} \times EQ3$
11	0.25	$0.35 \times K_{skew} \times EQ4$	$0.45 \times K_{skew} \times EQ4$	$0.70 \times K_{skew} \times EQ4$
12	0.50	$0.80 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.70 \times K_{skew} \times EQ1$
13	$0.75 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.75 \times K_{skew} \times EQ5$	$0.75 \times K_{skew} \times EQ5$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ5$
14	$0.90 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.50 \times K_{skew} \times EQ3$
15	0.80	1.00	1.20	1.70

Tableau 5-7 Modèle de Vulnérabilité 3 : Ponts sujet à des ruptures de sol

Typology	Damage state	
	Minor / Moderate / Extensive	Complete
Category	Median PGD (m) with $\beta=0.2$	
1; 2; 15	0.10	0.35
3; 4	/	/
5; 6; 9; 10; 13; 14	0.10	$0.35 \times \sin(\alpha)$
7; 8; 11; 12	$0.10 \times \frac{0.5 \times L}{N \times W \times \sin(\alpha)}$	$0.35 \times \frac{0.5 \times L}{N \times W \times \sin(\alpha)}$

- **Les Tunnels**

DESCRIPTION

Quelque soit le contenu (eaux potables ou usées, route ou chemin de fer), les tunnels sont des structures confinés. Ils ne sont souvent pas superflus et la rupture principale de leur utilité ou de leur système de transport peut s'avérer lourde de conséquences.

TPOLOGIE

Les tunnels peuvent être décrits selon leur technique de construction, leur système de recouvrement et les conditions géologiques (Cf. Tableau 5-8 Typologie des tunnels, selon ALA, 2001a). Pour une évaluation plus détaillée, la forme de la section, la profondeur, la longueur et le diamètre du tunnel, l'épaisseur de recouvrement pourraient être des informations utiles.

Tableau 5-8 Typologie des tunnels

Typologie	Construction Pauvre à moyenne	Bonne Construction
Etat de la Roche	Tunnels dans une roche moyenne ou pauvre, maçonnerie ou bois de construction non soutenus, béton non renforcé avec des vides fréquents derrière la doublure et/ou béton faible.	Tunnels dans une roche très saine et adaptés aux conditions géologiques (par exemple, appui spécial tel que des boulons forés dans la roche ou des parois plus fortes dans les zones faibles); parois en béton solide non armé avec un contact pour assurer la continuité avec la roche; roche moyenne; ou tunnels avec des parois béton ou acier renforcés avec jointoiement de contact au niveau de la roche.
Sol alluvionnaire, mode de forage et de parois	Tunnels forés, coupés ou préfabriqués incluant les tunnels en maçonnerie, bois de construction, parois béton non renforcés, ou n'importe quel autre type de paroi avec un manque de contact avec le sol.	Tunnels conçu pour un chargement séismique. Sont incluent les tunnels percés avec parois en béton renforcés ou en acier ayant un bon contact avec le sol.

PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES

Les tunnels peuvent être particulièrement enclins aux dommages engendrés par des tremblements de terre s'ils croisent des failles, ou si leur entrée ou sortie sont situées dans des zones d'éboulement. À un moindre degré, des dommages au niveau des parois peuvent se produire si la

secousse du sol est forte. Les états suivants de dommages peuvent être considérés (Tableau 5-9 Niveau de dommage, selon ALA, 2001a).

Tableau 5-9 Niveau de dommage

Niveau de Dommage	Description
Important	Effondrement des parois ou du sol avoisinant engendrant le blocage du tunnel soit dans l'immédiat soit après quelques jours suivant le choc principal.
Modéré	Fissures et effritements importants, chute de pierre
Léger	Fissures et effritements mineurs ou autres dégâts mineurs au niveau des parois

## VULNERABILITE DES TUNNELS

Le modèle de vulnérabilité pour les tunnels est un résultat basé sur des données de dommages des tunnels Japonais américains. La base de données inclut des tunnels construits pour différentes fonctions (i.e., route, passage, chemin de fer, approvisionnement en eau et communications).

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les tunnels dépendent de (Cf. modèle de vulnérabilité 1 et 2 - ALA, 2001a - Tableau 5-10 et Tableau 5-11):

- La typologie (construction de tunnel et conditions géologiques);
- dommages, conséquences ou pertes possibles;
- Accélération Maximale du sol (PGA).

Tableau 5-10 Modèle de vulnérabilité 1 (PGA)

Conditions géologiques et type de tunnel versus Niveau de dommage	Roche		Alluvion	
	Pauvre à moyenne (Cf. Fig. 2.5.1-8)	Bonne (Cf. Fig. 2.5.1-9)	Pauvre à moyenne	Bonne
Important	1.1 g	/	0.95 g	/
Modéré	0.55 g	0.82 g	0.45 g	0.7 g
Léger	0.35 g	0.61 g	0.3 g	0.5 g

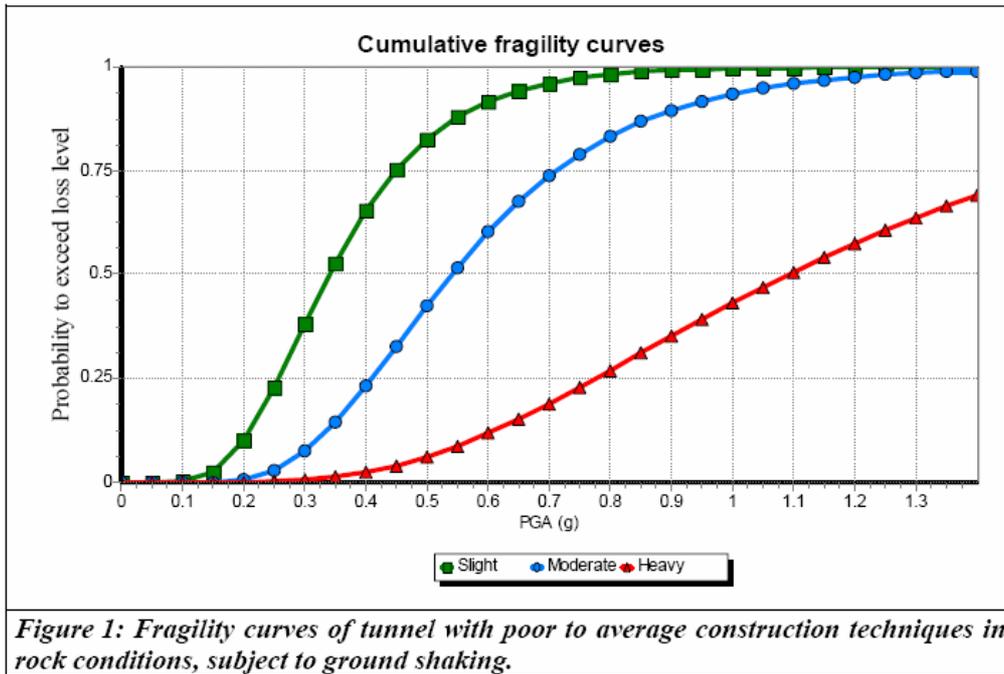


Figure 5-8 Courbe de vulnérabilité des tunnels - Technique de construction faible

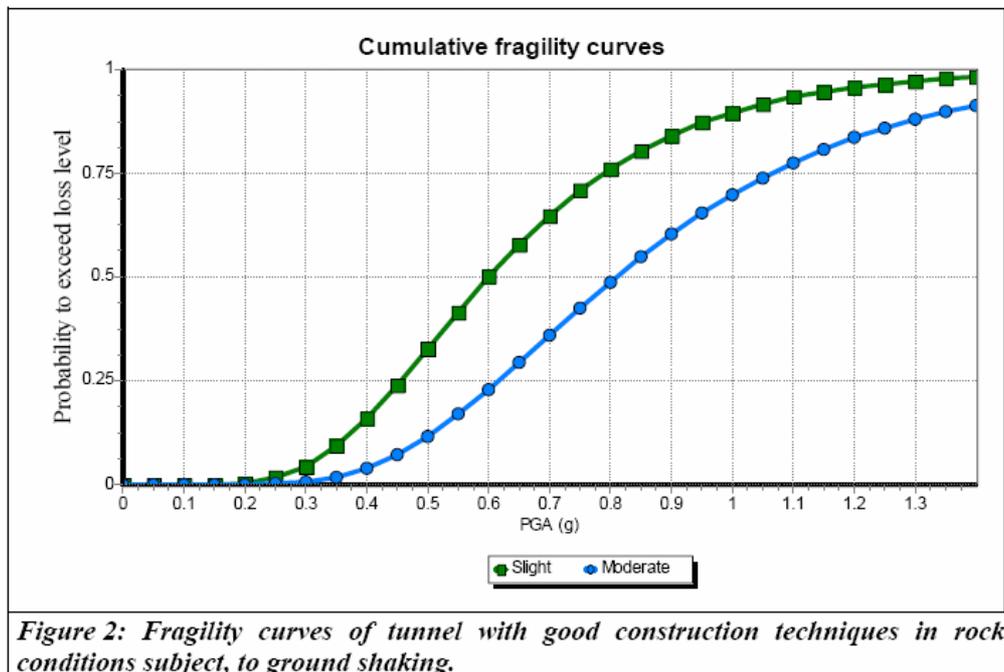


Figure 5-9 Courbe de vulnérabilité des tunnels - Bonne technique de construction

Tableau 5-11 Modèle de vulnérabilité 2 (PGD)

<b>Permanent Ground Deformation</b>			
<b>Classification</b>	<b>Damage State</b>	<b>Median (in)</b>	<b><math>\beta</math></b>
Bored/Drilled (HTU1)	slight/moderate	6.0	0.7
	extensive	12.0	0.5
	complete	60.0	0.5
Cut & Cover (HTU2)	slight/moderate	6.0	0.7
	extensive	12.0	0.5
	complete	60.0	0.5

## Les Aéroports

- **Piste de décollage**

Les pistes de décollage sont définies comme des aires rectangulaires préparées pour l'atterrissage et décollage des avions.

### CLASSIFICATION

Une piste de décollage est toujours de la plus grande importance car elle est nécessaire pour le fonctionnement de base d'un aéroport. La classification de différentes pistes peut être basée sur les critères suivants (Tableau 5-12 Classification des pistes).

Tableau 5-12 Classification des pistes

Piste de décollage	Importance		
	1 (Haute)	2 (Moyenne)	3 (Basse)
Nombre	1	2	>2
Type	Instrument de précision	Instrument de non précision	Visuel
Longueur	≥1800 m	Entre 1200 et 1800m	<1200 m
Nombre d'avions gérés par an	>100 000	De 30 000 à 100 000	<30 000

### TYPOLOGIE

Les configurations de base des pistes de décollage sont:

- piste simple;
- pistes parallèles;
- pistes à ouverture en V;
- pistes d'intersection.

La FAA classifie ensuite les pistes en 3 catégories : Visuel, Instrument de non précision, Instrument de précision.

Piste Visuel : Piste prévue seulement pour des avions utilisant des procédures visuelles d'approche (aucune instrumentation).

Piste avec instruments de non précision : Piste fournissant une aide visuelle sans affichage permettant une approche directe par conseils directionnels.

Piste avec instruments précision : Piste instrumentée par un système ILS (Instrument Landing System) et par un système d'aide visuelle.

## PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES

L'expérience des séismes passés a démontré que les pistes sont vulnérables aux ruptures de sol. Dans beaucoup de cas les aéroports sont construits près de la mer ou « sur la mer » pour avoir un terrain aussi découvert que possible (ex. Nice). Ces secteurs sont souvent enclins à la liquéfaction qui est la cause principale des dommages pour les pistes. Les états suivants de dommages peuvent être considérés (Tableau 5-13 Niveau de service).

Tableau 5-13 Niveau de service

Niveau de service	Description des dommages (HAZUS '99)	
Fermeture complète. Réparation de longue durée	Complet	Tassement de sol excessif ou soulèvement important de la piste
Fermeture complète ou partielle. Réparation de courte durée	Etendu	Tassement ou soulèvement considérable de la piste
Réouverture rapide après inspection ou après une courte période de réparation	Modéré/Mineur	Tassement ou soulèvement mineur de la piste
Ouverture complète	Aucun	/

## VULNERABILITE DES PISTE D'AEROPORT

En première approximation, la localisation et l'intensité d'une liquéfaction induite par des déplacements permanents peuvent donner une idée des conséquences attendues (à savoir la longueur de piste probablement utilisable après tremblement de terre). Ainsi, la vulnérabilité des pistes peut être le rapport entre la longueur disponible et la longueur total (ou nécessaire) en tenant compte de la localisation des déplacements permanents de sol.

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les pistes sont fonction (Cf. modèle de vulnérabilité 1 – HAZUS '99 et Tableau 5-14 Modèle de vulnérabilité 1):

- des dommages, conséquences ou pertes possibles;
- du déplacement permanent du sol (PGD).

Tableau 5-14 Modèle de vulnérabilité 1

Niveau de Dommages	Déplacement permanent (PGD, m)	Dispersion ( $\beta$ )
Complet	0.3	0.6
Étendu	0.1	0.6
Modéré/Mineur	0.03	0.6

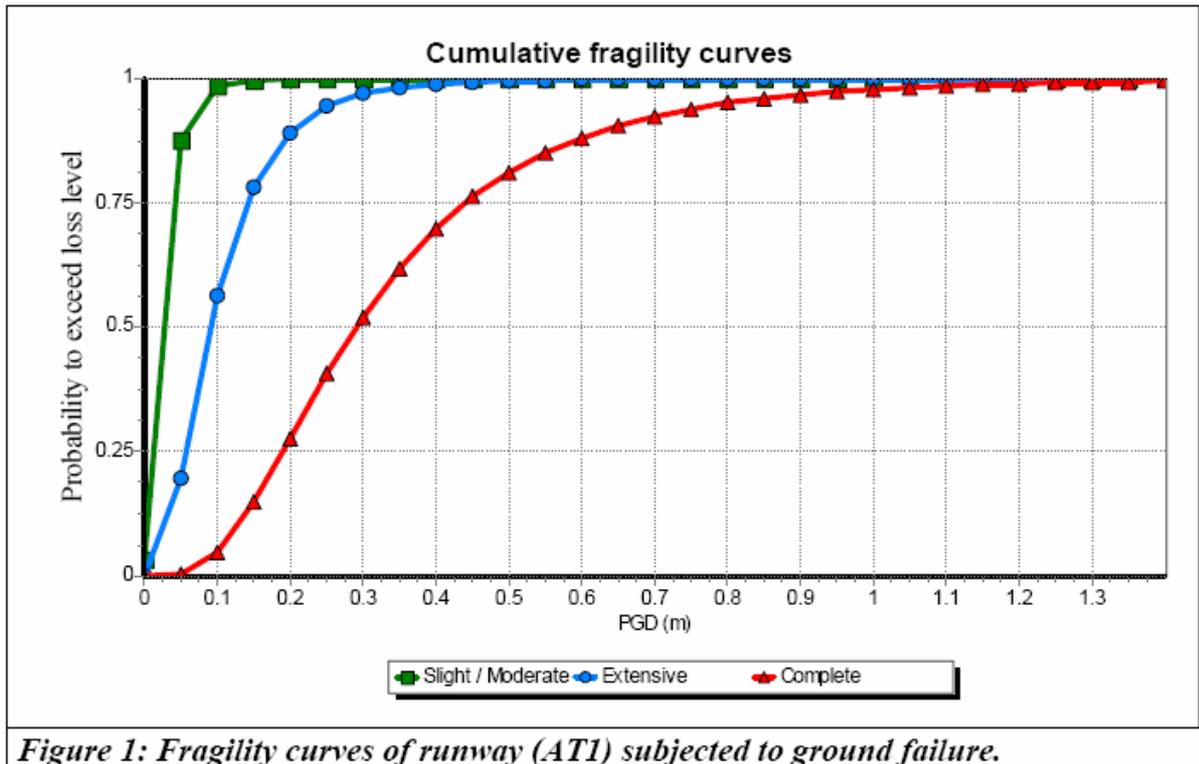


Figure 1: Fragility curves of runway (ATI) subjected to ground failure.

Figure 5-10 Courbe de vulnérabilité des pistes d'atterrissage

- **Infrastructures et bâtiments**

DESCRIPTION

Les composants de l'infrastructure d'un aéroport incluent des systèmes d'utilité et de transport et des bâtiments de typologies diverses et variés (Cf. Figure 5-11 Composants d'un aéroport) Des liens d'accès par routes ou par rail sont généralement exigés pour transférer les cargaisons aéroportées et les passagers.

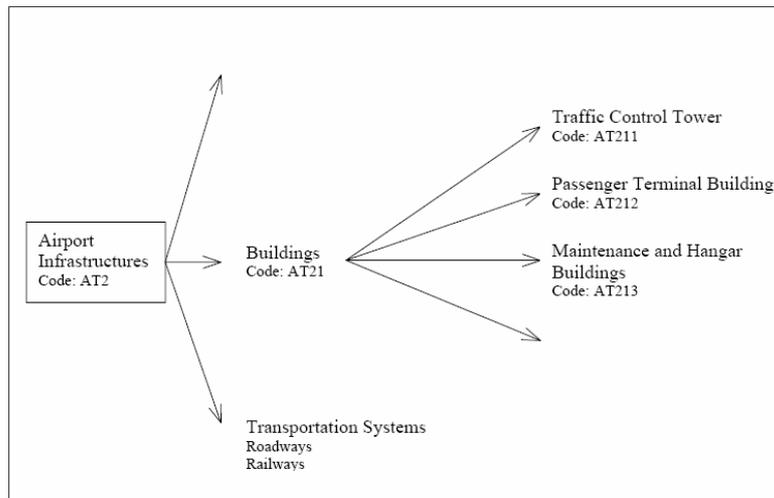


Figure 5-11 Composants d'un aéroport selon Hazus.

## CLASSIFICATION

Nous pouvons considérer la classification selon les points spécifiques suivants (Tableau 5-15 Classification des aéroports).

La tour de contrôle est censée avoir une importance élevée car elle est continuellement nécessaire pour l'atterrissage et le décollage des avions.

Par nature, l'occupation des terminaux est élevée (comprenant les passagers, les personnes qui les accompagnent et les employés).

Les bâtiments d'entretien et les hangars peuvent être classifiés selon le type d'avion parké ou selon le nombre d'heures de maintenance par année.

Tableau 5-15 Classification des aéroports

Bâtiments d'aéroport	Importance		
	1 (Haute)	2 (Moyenne)	3 (Basse)
Concentration de personnes	>500	Entre 20 et 500	<20
Importance des bâtiments d'équipement ou des bâtiments de contrôle	Absolument critique	Non critique	Pas d'équipement ou pas critique
Nombre d'employés	>50	Entre 10 et 50	<10

## TPOLOGIE

Au minimum, la matrice typologie définie dans « Scénarios de Dommage et Enjeux » devrait être employée. Cependant, les bâtiments tels que la tour de contrôle ou les hangars présentent une

typologie particulière. Au delà de la matrice de typologie, une description plus détaillée peut inclure les éléments suivants :

- matériaux de construction,
- régularité,
- redondance,
- continuité,
- résistance,
- ductilité,
- rigidité.

### PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES

Durant les tremblements de terre passés, nous avons pu observer à la fois une bonne et une mauvaise performance des infrastructures et des bâtiments des aéroports. Il a été remarqué que les bâtiments sont plus vulnérables aux dommages non structuraux qu'aux dommages structuraux. Cela est dû à la présence d'équipement critique qui n'ont pas été conçus pour résister à l'activité sismique.

Au delà des « états communs » de dommages, la définition d'un état de fonctionnement semble être appropriée pour certains bâtiments:

- Fonctionnalité : oui ou non;
- Niveau d'utilité
  - utilisation nominale, utilisation réduite ou non utilisable;
  - utilisable sans réparations, utilisable après réparations ou non réparable.

### VULNERABILITE DES BÂTIMENTS

En raison de l'importance de ces bâtiments et de leurs caractéristiques singulières, l'évaluation des dommages devrait être déterminée sur une base spécifique en utilisant des paramètres sismiques adaptés à l'emplacement et après un examen détaillé de la structure.

Cependant on propose deux types d'évaluations sismiques:

- Niveau 1, utilisation de la matrice de typologie,
- Niveau 2, études analytiques de vulnérabilité.

## **6. Annexe 3**

# **Analyse de vulnérabilité des Réseaux de Service**



## Télécommunications

### DESCRIPTION

Les appels sont traités depuis un central téléphonique. La plupart des équipements qui sont logés à l'intérieur du central téléphonique (Figure 6-1 Intérieur simplifié d'un central téléphonique) ont un rôle crucial dans l'exécution du système.

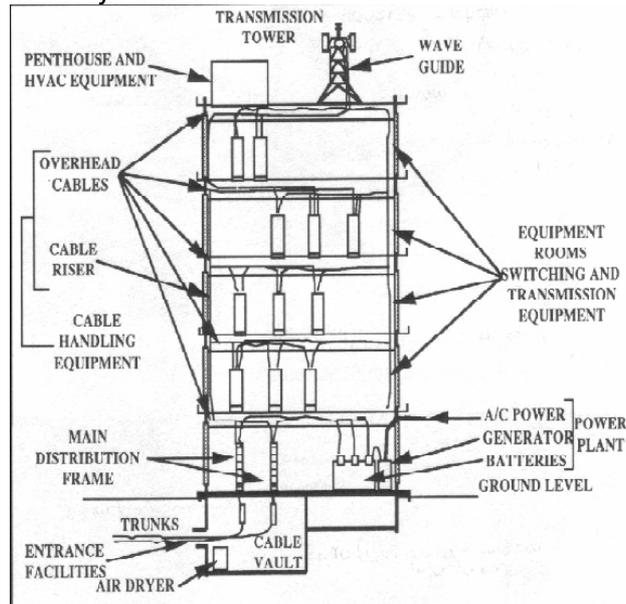


Figure 6-1 Intérieur simplifié d'un central téléphonique (tiré de HAZUS)

### CLASSIFICATION

Tableau 6-1 Classification des centrales téléphoniques

Central téléphonique	Importance 1	Importance 2	Importance 3
Portée géographique	Longue distance, Régionale	Locale	Fin de terminaux
Existence de « micro-ondes »	Oui		Non
Nombre de téléphones	> 30 000	Entre 20 000 et 30 000	< 20 000

### TYPLOGIE

Un central téléphonique peut être décrit de 2 façons différentes selon si ces sous composants sont ancrés ou non et s'ils sont numériques ou conventionnels.

L'ancrage peut être sécurisé selon 5 méthodes :

- Accroche au plafond
- Poteaux Latéraux,

- Système de câble attachant,
- Armature Mécanique,
- Piédestal Structurel.

## PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES

Lors des tremblements de terre passés, beaucoup de vieux commutateurs mécaniques se sont renversés en raison du manque d'ancrage. Le nouvel équipement utilise des cartes électroniques qui sont sensibles aux vibrations et pourraient subir des dommages à cause des mouvements différentiels entre les éléments et l'armature auxquels elles sont reliées. Les problèmes potentiels comme des disfonctionnements de circuits logiques ou de processeur provoqués par des raccords endommagés ou des contacts intermittents peuvent mener au défaut de fonctionnement du système.

L'équipement de commutation est essentiel pour la survie du central téléphonique. Beaucoup de composants de télécommunication peuvent être endommagés alors que les dommages structuraux sont minimes.

*Tableau 6-2 Descriptions des pertes de fonctionnalites d'un central telephonique*

Niveau d'utilisation	Description des dommages	
Non utilisable	Complet	Destruction complète du bâtiment de service de communication, ou dommages au delà de la réparation au niveau des panneaux de commutation numériques.
	Etendu	Dommages graves au niveau des bâtiments de communication ayant pour résultat l'accès limité au service ; panneaux de commutation numériques délogés ayant pour résultat un défaut de fonctionnement.
	Modéré	Dommages modérés au niveau des bâtiments de communication ; peu de panneaux de commutation numériques délogés ; central téléphonique hors service pendant quelques jours dus à la perte d'énergie électrique (c.-à-d., panne de courant)
Utilité réduite	Mineur	Légers dommages au niveau des bâtiments de communication ; incapacité du centre à fournir des services

		pendant une période courte (peu de jours) due à la perte d'énergie électrique et de puissance.
Usage nominal	Aucun	/

### VULNERABILITE DES CENTRALES ELECTRIQUES

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les centres de Télécommunications sont fonction (Cf. modèle de vulnérabilité 1 – HAZUS '99 et Tableau 6-3 Modele de vulnerabilite 1):

- De la typologie
- Des dommages, conséquences ou pertes possibles;
- De l'accélération maximale du sol (PGA).

Tableau 6-3 Modele de vulnerabilite 1

Typologie	Niveau de service	Niveau de dommage	PGA	Dispersion
Centre avec composants ancrés	/	Complet	1.25	0.65
	/	Etendu	0.60	0.62
	Non utilisable	Modéré	0.32	0.60
	Usage réduit	Mineur	0.15	0.75
Centre avec composants non ancrés	/	Complet	1.02	0.62
	/	Etendu	0.46	0.62
	Non utilisable	Modéré	0.26	0.50
	Usage réduit	Mineur	0.13	0.55

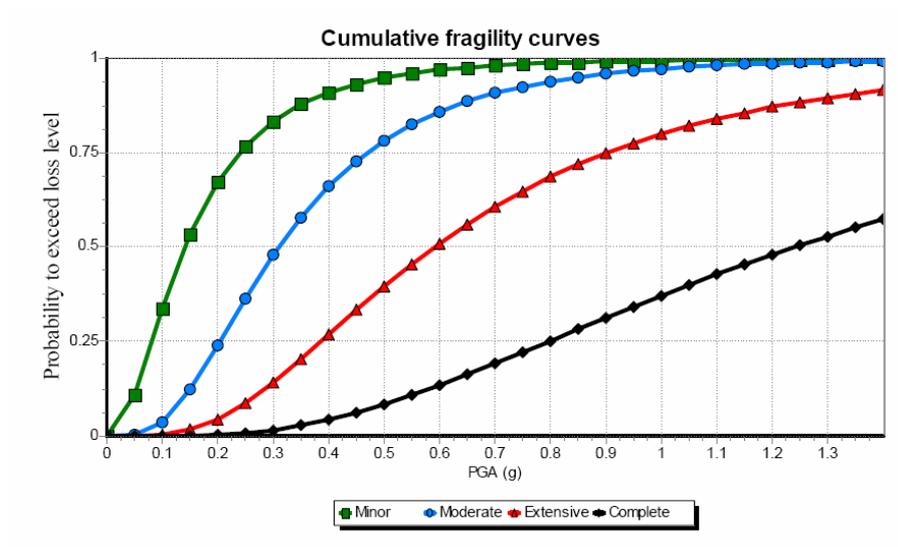


Figure 2: Fragility curves of central office (TS1) with anchored components subject to ground shaking.

Figure 6-2 Courbe de vulnérabilité des centres de télécommunications avec composants ancrés

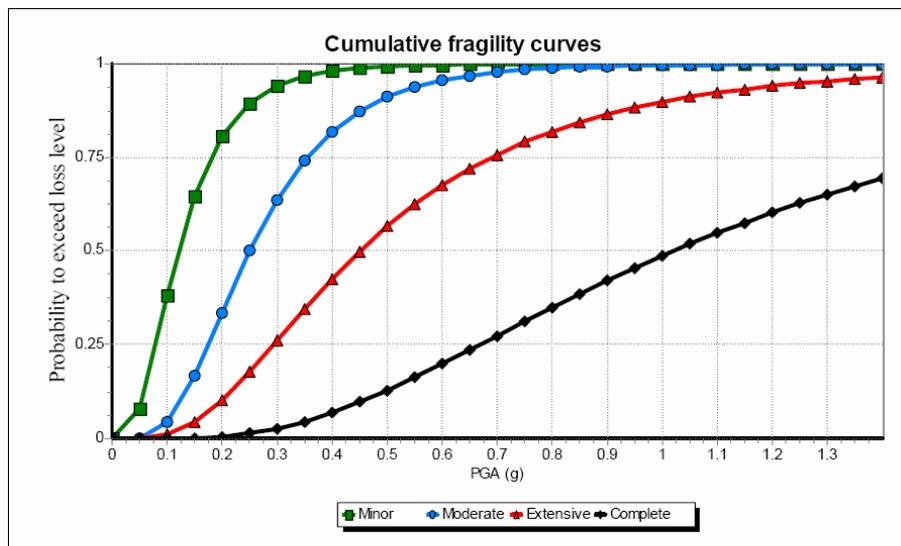


Figure 3: Fragility curves of central office (TS1) with unanchored components subject to ground shaking.

Figure 6-3 Courbe de vulnérabilité des centres de télécommunications avec composants non ancrés

**Electricité**• **Centrale électrique**DESCRIPTION

Les équipements générateurs de puissance sont les suivant :

- Centrale Hydroélectrique;
- Usines de combustion (rempli de gaz ou de pétrole);
- Usines de turbine à vapeur (chauffé au charbon);
- Centrale géothermique;
- Centrale diesel;
- Equipements solaires;
- Eolienne;
- Air comprimé;
- Centrale nucléaire.

CLASSIFICATION

Tableau 6-4 Classification des centrales électriques

Centrale électrique	Importance		
	1 (Haute)	2 (Moyenne)	3 (Basse)
Possibilité de redondance	Globalement Unique	Entre les deux	Globalement Redondant
Puissance	≥ 200 MW		≤ 200 MW
Proportion de la production du pays	> 20%	10-20%	< 10%
Niveau de danger	Nucléaire	Hydroélectrique, Diesel, Gaz	Chauffé au charbon, solaire, éolienne, air comprimé, géothermique
Utilisation des équipements de la centrale dans un autre but	Nucléaire	Hydroélectrique, Diesel, Gaz, Chauffé au charbon, géothermique	/
Interaction	Internationale	Nationale	Régionale

TYPLOGIE

Les centrales électriques peuvent être classifiées selon (Hazus '99) :

- leur taille : petite, moyenne ou grande (Respectivement, ≤ 200 Mw ou ≥ 200 Mw);
- leur sous composants : ancrés ou non ancrés.

**PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES**

Les performances sismiques globales des centrales électriques ont été satisfaisantes bien que l'équipement et les installations aient été endommagés. Cela est dû au fait que la plupart des centrales possèdent des structures acier. La ductilité de ces structures contribue à un comportement sismique acceptable (SCHIFF, 1991).

Au delà des « états communs » de dommages (RISK-UE Niveau I), la définition d'un état de fonctionnement semble être appropriée pour les centrales électriques:

- Niveau d'utilisation
  - Utilisation nominale, utilisation réduite ou non utilisable;
  - Utilisable sans réparations, utilisable après réparations ou non réparable.
- Valeur de remplacement (habituellement entre 0 et 100%).

*Tableau 6-5 Description des Dommages possibles des centrales électriques*

Niveau d'utilisation		Valeur de remplacement (%)	Description des dommages	
Non utilisable	Non réparable	75 – 100 %	Complet	Grands réservoirs irréparables ; dommages étendus des moteurs et valves ; bâtiments étant complètement endommagés
		50 – 75 %	Etendu	Dommages considérables des pompes moteurs ; dommages considérables de la grande pompe verticale ; bâtiment étant dans un état de dommages étendu
	Opérationnel après réparation	30 – 50 %	Modéré	Vibration des tableaux d'instrumentation ; dommages considérables aux chaudières et aux réservoirs de pression ; bâtiment étant dans un état de dommages modéré

Utilisation réduite	Opérationnel sans réparation	10 – 30 %	Léger/Mineur	Déclenchement des Turbines; dommages légers au générateur diesel ; bâtiment étant dans un état de dommage mineur
Utilisable		1 – 10 %	Aucun	/

### VULNERABILITE DES CENTRALES ELECTRIQUES

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les centrales électriques sont fonction (Cf. modèle de vulnérabilité 1 – HAZUS '99 et Figure 6-4 Courbe de vulnérabilité d'une centrale électrique avec des composants ancrés):

- De la typologie (taille petite, moyenne ou grande ; composants ancrés ou non ancrés)
- Des dommages, conséquences ou pertes possibles;
- De l'accélération maximale du sol (PGA).

Tableau 6-6 Modèle de vulnérabilité 1 des centrales électriques

Typologie	Niveau d'utilisation	Niveau de dommage	Médiane (PGA, g)	Dispersion ( $\beta$ )
Petite taille avec composants ancrés (Fig. 1)	Non utilisable	Complet	0.78	0.5
	Non réparable	Étendu	0.48	0.5
	Utilisable après réparation	Modéré	0.21	0.55
	Utilisation réduite	Mineur	0.1	0.55
Petite taille avec composants non ancrés	Non utilisable	Complet	0.58	0.55
	Non réparable	Étendu	0.42	0.5
	Utilisable après réparation	Modéré	0.17	0.5
	Utilisation réduite	Mineur	0.1	0.5
Taille moyenne à grande avec des composants ancrés	Non utilisable	Complet	0.92	0.55
	Non réparable	Étendu	0.52	0.55
	Utilisable après réparation	Modéré	0.25	0.6
	Utilisation réduite	Mineur	0.1	0.6
Taille moyenne à grande avec des composants non ancrés	Non utilisable	Complet	0.79	0.5
	Non réparable	Étendu	0.49	0.5
	Utilisable après réparation	Modéré	0.22	0.55
	Utilisation réduite	Mineur	0.1	0.6

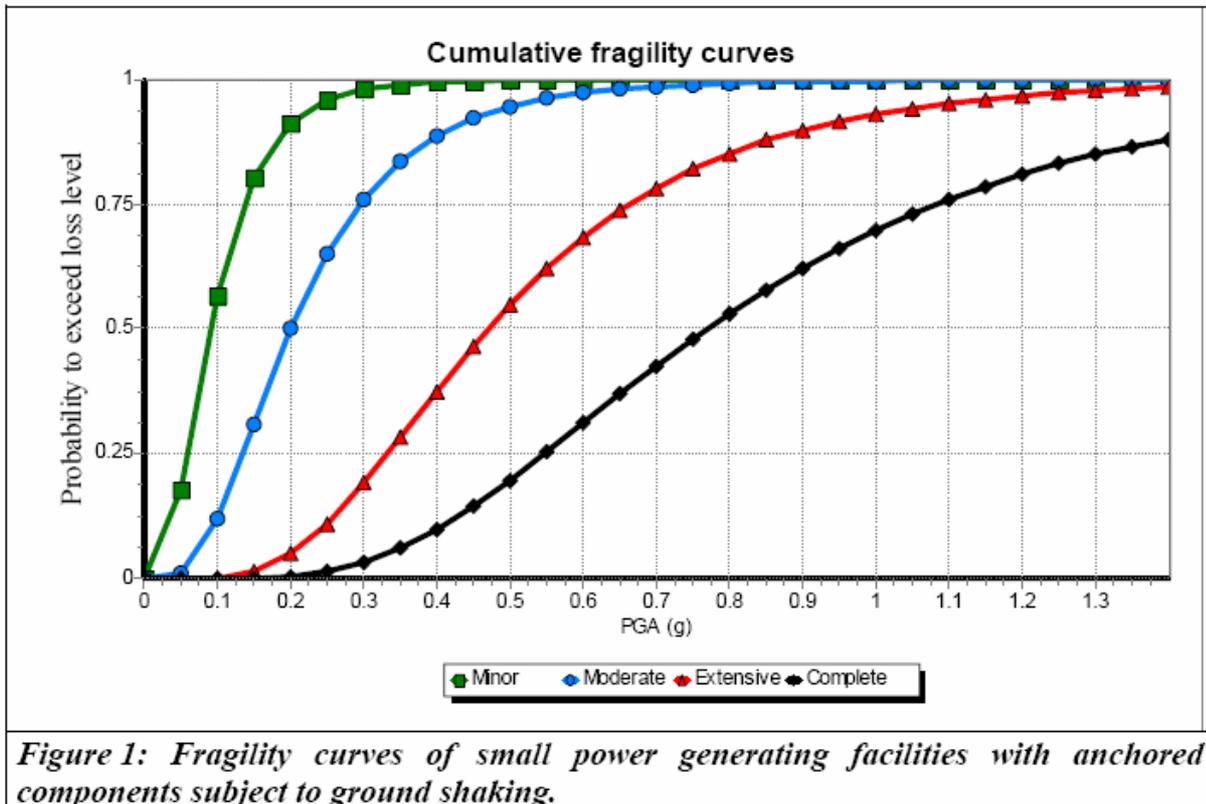


Figure 6-4 Courbe de vulnérabilité d'une centrale électrique avec des composants ancrés

### • Poste de distribution électrique

#### DESCRIPTION

Un poste de distribution électrique est un service qui sert de source d'approvisionnement en énergie pour le secteur de distribution local. Un poste de distribution a les fonctions principales suivantes:

- changer ou commuter la tension d'un niveau à un autre
- fournir les emplacements où des dispositifs de sécurité tels que des commutateurs de débranchement, des disjoncteurs et tout autre équipement peuvent être installés
- réguler la tension pour compenser des changements de tension de système
- éliminer les montées subites de foudre
- convertir le C.a. en C.c et C.c en C.a.
- changer la fréquence

CLASSIFICATION

Tableau 6-7 Classification des postes de distribution d'électricité

Poste de distribution	1 (Haute)	2 (Moyenne)	3 (Basse)
Possibilité de redondance	Globalement Unique	Entre les deux	Globalement Redondant
Transmission versus Distribution	Transmission	Sub-transmission	Distribution
Voltage (kV)	Haute tension (>350 kV) Poste de distribution de 500 kV	Moyenne tension (150-300 kV) Poste de distribution de 230 kV	Basse tension (34.5-150 kV) Poste de distribution de 115 kV
Type de client	Industries importantes ; lignes de sauvetage	Petites industries ; établissements commerciaux	Maisons

TYPLOGIE

Les postes électriques peuvent être décrits (Hazard '99) comme suit:

- Voltage – Tension
  - Haute tension (350 kV et plus), Poste de distribution de 500 kV
  - Moyenne tension (150 kV à 350 kV), Poste de distribution de 230 kV
  - Basse tension (34,5 kV à 150 kV), Poste de distribution de 115 kV
- Les sous composants (équipement et protection) sont ancrés ou non ancrés

PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES

Les dommages aux parties en porcelaine de l'équipement des postes de distribution ont été des problèmes récurrents. D'une façon générale, plus la tension d'opération est haute, plus les équipements sont vulnérables. Une des difficultés principales lorsque l'équipement est endommagé est le nombre limité de pièces de rechange ou d'équipements disponibles en rechange. En outre la réparation et le remplacement de l'équipement endommagé est une tâche longue (SCHIFF, 1999).

Tableau 6-8 Description des niveaux de dommages pour les postes de distributions

Niveau de service	Valeur de remplacement (%)	Description des niveaux de dommages	
Non réparable	75-100%	Complet	Mise hors fonction de tous les commutateurs débranchés (i.e. déviation d'alignement), de tous les circuits, de tous les transformateurs, ou bâtiment étant dans un état de dommages complets
	50-75%	Étendu	Mise hors fonction de 70% des commutateurs (i.e. déviation d'alignement) ; mise hors fonction de 70% des disjoncteurs ; mise hors fonction de 70% des transformateurs de courant (par exemple huile fuyant du transformateur, porcelaine fendus) ; bâtiment étant dans un état de dommages étendu.
Opérationnel après réparation	30-50%	Modéré	Idem que « l'état étendu » avec 40% au lieu de 70%.
Opérationnel sans réparation (ou peu)	10-30%	Mineur	Mise hors fonction de 5% des commutateurs (c.-à-d. déviation d'alignement) ; Mise hors fonction de 5% des disjoncteurs ; bâtiment étant dans un état de dommage mineur.
	1-10%	Aucun	/

**VULNERABILITE DES POSTES DE DISTRIBUTION**

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les postes de distribution sont fonction (Cf. modèle de vulnérabilité 2 – HAZUS '99):

- De la typologie (haute, moyenne ou basse tension ; composants ancrés ou non ancrés)
- Des dommages, conséquences ou pertes possibles;
- De l'accélération maximale du sol (PGA).

Tableau 6-9 Modèle de vulnérabilité 2

Typologie	Niveau de Service	Niveau de Dommage	Accélération maximale (PGA, g)	Dispersion ( $\beta$ )
Basse tension avec composants ancrés	/	Complet	0.90	0.45
	Non réparable	Étendu	0.45	0.45
	Utilisable après réparation	Modéré	0.29	0.55
	Usage réduit	Mineur	0.15	0.70
Basse tension avec composants non ancrés	/	Complet	0.70	0.40
	Non réparable	Étendu	0.35	0.40
	Utilisable après réparation	Modéré	0.25	0.50
	Usage réduit	Mineur	0.15	0.60
Moyenne tension avec composants ancrés	/	Complet	0.47	0.40
	Non réparable	Étendu	0.20	0.35
	Utilisable après réparation	Modéré	0.15	0.45
	Usage réduit	Mineur	0.11	0.50
Moyenne tension avec composants non ancrés	/	Complet	0.74	0.40
	Non réparable	Étendu	0.34	0.40
	Utilisable après réparation	Modéré	0.26	0.50
	Usage réduit	Mineur	0.13	0.65
Haute tension avec composants ancrés	/	Complet	0.50	0.40
	Non réparable	Étendu	0.30	0.40
	Utilisable après réparation	Modéré	0.20	0.50
	Usage réduit	Mineur	0.10	0.60
Haute tension avec composants non ancrés	/	Complet	0.38	0.35
	Non réparable	Étendu	0.17	0.35
	Utilisable après réparation	Modéré	0.13	0.40
	Usage réduit	Mineur	0.09	0.50

• **Ligne de transmission et de distribution**

DESCRIPTION

Les lignes de transmission relient les centrales électriques et les postes de distribution à haute tension alors que les lignes de distribution relient :

- les postes de distribution à haute tension avec ceux de moyenne tension;
- les postes de distribution à moyenne de tension avec ceux de basse tension.

CLASSIFICATION

Tableau 6-10 Classification des lignes de transmission et de distribution d'électricité

Lignes	Importance		
	1 (Haute)	2 (Moyenne)	3 (Basse)
Possibilité de redondance	Globalement Unique	Entre les deux	Globalement Redondant
Acheminement Alternatif	1-2	2-4	>4
Transmission versus distribution	Transmission	Sub-transmission	Distribution
Distance par rapport aux clients	<50 km	Entre 50 et 250 km	>250 km
Population de la ville connectée	>150 000	25 000 – 150 000	<25 000
Type de client	Industrie importante ; « life line »	Industrie plus petite ; équipement commerciaux	Maison individuelle

TYPOLOGIE

Les lignes de distribution sont décrites selon Hazus '99 et sont divisées en deux types : circuits de distribution standard ou sismiques.

PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES

Les tours et les poteaux de transmission ne sont pas très vulnérables aux séismes, elles sont principalement sensibles aux déplacements permanents du sol (Cf. Photo 6).



Photo 6

Tableau 6-11 Description des niveaux de dommages pour les lignes électrique

Valeur de remplacement (%)	Description des niveaux de dommage (Hazard '99)	
75-100%	Complet	Mise hors tension de 80% des circuits
50-75%	Etendu	Mise hors tension de 50% des circuits
30-50%	Modéré	Mise hors tension de 12% des circuits
10-30%	Mineur	Mise hors tension de 4% des circuits
1-10%		

### VULNERABILITE DES LIGNES

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les postes de distribution sont fonction (Cf. modèle de vulnérabilité 3 – HAZUS '99):

- De la typologie (circuits de distribution standard ou sismique)
- Des dommages, conséquences ou pertes possibles;
- De l'accélération maximale du sol (PGA).

Tableau 6-12 Modèle de vulnérabilité 3 pour les lignes électrique

Typologie	Niveau de dommage	Médiane (PGA, g)	Dispersion
Circuits de distribution sismique (Fig. 14)	Complet	1.10	0.15
	Etendu	0.72	0.15
	Modéré	0.40	0.20
	Mineur	0.28	0.30
Circuits de distribution standard (Fig. 15)	Complet	0.89	0.15
	Etendu	0.58	0.15
	Modéré	0.33	0.20
	Mineur	0.24	0.25

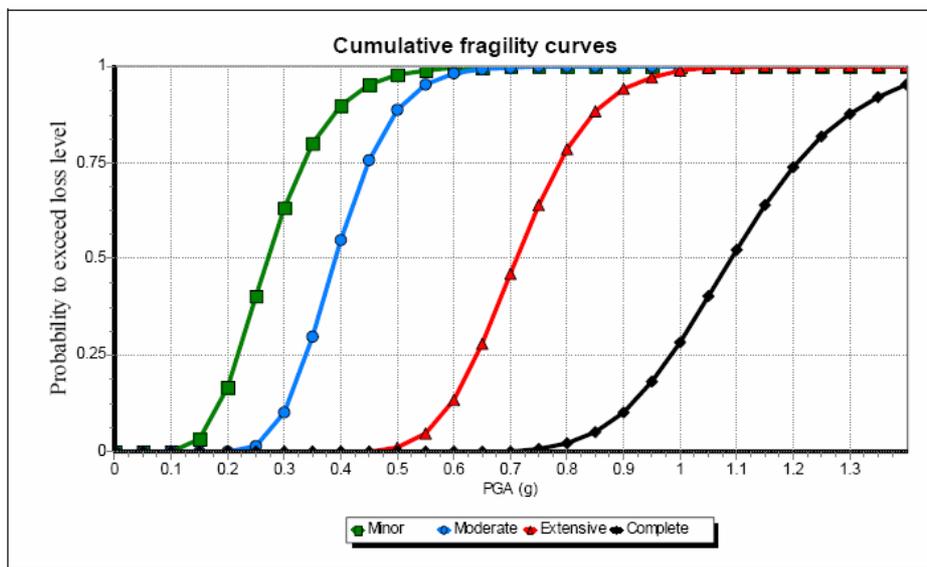


Figure 14: Fragility curves of seismic distribution circuits subject to ground shaking.

Figure 6-5 Courbe de vulnérabilité des lignes électrique dites « sismiques »

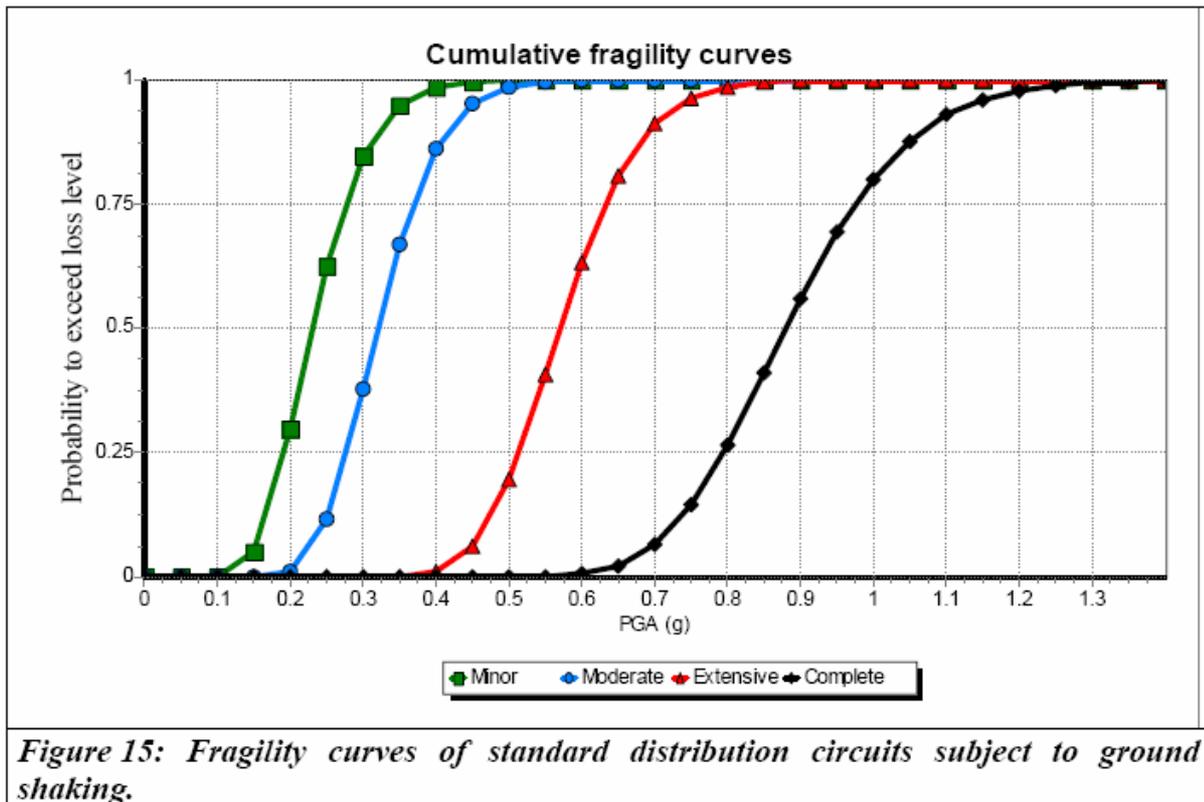


Figure 6-6 Courbe de vulnérabilité des lignes électrique dites « standards »

## Eau Potable

- Sources

### DESCRIPTION

Les sources d'eau typiques sont les puits (peu profonds ou profonds), les fleuves, les lacs et les réservoirs. Les puits sont employés dans beaucoup de villes en tant que ressources primaire et ressource supplémentaire d'eau. Les puits incluent un axe partant de la surface du sol et atteignant les aquifères, une pompe pour apporter l'eau jusqu'à la surface, divers équipements, et un bâtiment pour recouvrir le tout.

NB : L'eau disponible pour combattre un feu dépend de la capacité du système de distribution d'eau et tient compte du niveau de dommage du système. Les paramètres qui déterminent la quantité d'eau disponible dans une cellule pour supprimer les feux incluent:

- Le débit disponible
- La durée disponible du système de pompage

**CLASSIFICATION***Tableau 6-13 Classification des sources en eau potable*

Sources	1 (Haute)	2 (Moyenne)	3 (Basse)
Débit (m3/jour)	>100 000	Entre 10 000 et 100 000	<10 000
Capacité (m3)	>1 000 000	Entre 20 000 et 1 000 000	<20 000
Nombre de consommateur	> 200 000	Entre 50 000 et 200 000	< 50 000

**TYPOLOGIE**

Les puits et les fleuves sont différents types de ressources d'eau. Néanmoins, les sous composants suivant peuvent être considérés (Hazus '99) :

- Energie électrique (protection, puissance commerciale);
- Pompe des puits;
- Bâtiment;
- Equipement électrique.

**PERTES DE FONCTIONNALITES ET CONSEQUENCES***Tableau 6-14 Description des niveaux de dommages des ressources en eau*

Niveau D'utilisation		Description des dommages (Hazus 99)	
Pas d'eau disponible	Non réparable	Complet	Effondrement du bâtiment
		Etendu	Bâtiment intensivement endommagé ; pompe du puit et l'axe vertical de pompage tordu et non fonctionnel.
	Opérationnel après réparation	Modéré	Disfonctionnement de la pompe et du moteur du puit pendant environ une semaine due à la perte d'énergie électrique ; dommages considérables à l'appareillage électrique et mécanique ; dommages modérés des bâtiments.

Réduction du débit ou de la pression	Opérationnel sans réparation	Mineur	Disfonctionnement de la pompe et du moteur du puit pendant une courte période (moins de trois jours) dû à la perte d'énergie électrique ; bâtiments légèrement endommagés.
Débit et pression nominal		Aucun	/

### VULNERABILITE DES RESSOURCES EN EAU

Des courbes de fragilité (distribution lognormal avec médianes et dispersions) pour les ressources en eau sont fonction (Cf. modèle de vulnérabilité 1 – HAZUS '99):

- De la typologie
- Des dommages, conséquences ou pertes possibles;
- De l'accélération maximale du sol (PGA).

*Tableau 6-15 Modèle de vulnérabilité 1 des ressources en eau*

Niveau d'utilisation	Niveau de dommage	Médiane (PGA, g)	Dispersion ( $\beta$ )
/	Complet	1.5	0.8
Non utilisable, non réparable	Etendu	0.72	0.65
Utilisable après réparation	Modéré	0.36	0.65
Utilisation réduite	Mineur	0.15	0.75



## 7. Bibliographie

1. HAZUS – Technical Draft : « Hazard US » : FEMA's software program for estimating potential losses from disaster
2. RISK-EU (WP1 à 14), BRGM/RP-52760-FR Février 2004
3. Schiff, 1991



**Centre scientifique et technique**  
**Service Aménagement Risques Naturels**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34