

**Conférence statutaire Membre  
Abdelmajid EL HOR, Ingénieur Conseil, Past-Président**

---

La Parasismie vers une meilleure  
sécurité et plus d'économie

---

**Contrairement à une idée reçue, ce n'est pas seulement Agadir qui se situe dans une zone sismique, mais aussi - à un degré moindre il est vrai - l'ensemble du pays. D'où la nécessité de la prévention qui doit être « un choix stratégique ». D'autant que la technique est suffisamment avancée et les surcoûts largement réduits.**

Très tôt dans l'histoire, l'homme était condamné à lutter contre les séismes pour assurer sa survie.. les habitants des régions fréquemment tremblées, plus que les autres, reconstruisaient bas et léger.. ils faisaient déjà de la parasismie.

Pour les temps modernes, et avec le développement des sciences et des techniques, la parasismie est devenue plus qu'un savoir faire, une science à part entière dont la fiabilité à plus d'un égard, est, à en juger par les résultats obtenus, assez satisfaisante.

En 1939, les villes de Chillan et Concepción sont dévastées par un séisme de magnitude 7.7 sur l'échelle de Richter, provoquant un bilan de 30.000 victimes. La reconstruction est effectuée en faisant appel à la parasismie des années quarante (prépondérance de la méthode statique). Ces mêmes villes retremblent à une intensité et une magnitude bien supérieures, en mai 1960 ; le bilan es beaucoup moindre : 300 victimes et une destruction faible.

Officiellement, l'ingénierie parasismique est née avec l'ingénieur Anglais John Milne en 1887 qui a proposé la méthode statique « Force H » et a fondé la première société sismologique du monde à Tokyo, au Japon, depuis, on note l'apparition de deux écoles traditionnelles, l'une au Japon qui propose des structures hautes et flexibles. L'autre aux Etats-Unis d'Amérique qui propose des structures hautes et flexibles. Les deux écoles préconisent des formes géométriquement simples ou découpées en formes simples au moyen de joints appelés joints de rupture. chaque école s'est faite rapidement des adeptes parmi les pays sujets aux séismes. Le Chili a choisi d'être Japonais, le Mexique Américain.

La différence entre les deux écoles, plus fictive que réelle, commence à s'atténuer avec la proposition de la méthode dynamique et avec l'enregistrement rigoureux d'un tremblement de terre destructeur en 1938 à El Centro en Californie Nord Américaine. Les progrès ultérieurs sont relativement plus lents, ceci en raison de l'absence de renseignements pratiques plus explicites. En effet, il ya rarement coïncidence entre l'existence d'un sismographe en état de marche et l'épicentre d'un grand tremblement de terre.

En 1965, la ville de Los Angeles rend obligatoire l'installation de trois sismographes dans toute construction neuve de plus de six étages. Grace à cette sage mesure, quand tremble San Fernando en Février 1971, on obtient des enregistrement dans soixante-dix édifices, dont certains de plus de quarante-deux étage. Le nombre important de renseignements pratiques obtenus provoque une véritable révolution dans la pratique de l'ingénierie parasismique.

Pour analyser cette information la Fondation Nationale Scientifique et le Bureau Américain de normalisation, mobilisent quatre vingt cinq experts et scientifiques américains, de renommée mondiale. En 1978 et 1979, ils publient leurs recommandations dans les documents connus sous l'appellation A.T.C. n°3 et A.T.C. n°4 (Applied technology Council).

Ces recueils de directives concrètes pour la conception et la construction, tant de petits ouvrages que de grands édifices en zones sismiques, ont actuellement un effet majeur dans tous les pays du monde désireux de se prémunir contre les effets dévastateurs des séismes. Notamment les pays d'Europe et d'Amérique Latine.

Le Maroc est rentré dans l'histoire sismique contemporaine le 29 février 1960 au prix effroyable de 15.000 victimes et 20.000 sans abri. Evénement dramatique qui suscite la solidarité nationale pour lever le défi cosmique et reconstruire la ville martyre.

Je cite un passage du Message, de Sa Majesté le Roi Hassan II, adressé à la revue africaine d'architecture et d'urbanisme publié dans son 4<sup>e</sup> numéro de l'année 1966.

Je cite :

*« ... Et de fait, Agadir, constamment, fut pour le pays, tout entier, le lieu d'un magnifique élan de solidarité, d'abnégation, d'union. Toutes la nation se sentant concernée, défiée, toutes la nation a sous la conduite ferme et lucide à l'exemple de Notre Regretté Père Sa Majesté Mohammed V, puis avec Nous même, mobilisa ses biens, son énergie, son intelligence, son cœur. Et Agadir fut le lieu où toute douleur et détresse surmontées, le Maroc, uni offrit à lui-même et au monde la mesure de son génie créateur ... »*

Fin de citation.

### **L'ACTE DE NAISSANCE DE LA PARASISMIE AU MAROC**

Le Maroc a pris conscience, de façon dramatique, du risque sismique et de la nécessité de le combattre. Le 21 décembre 1960, considérant que pour des raisons de sécurité, les constructions doivent être soumises, dans les zones sujettes à séisme, à des règles particulières, S.A.R. le prince héritier Moulay Hassan a scellé le Décret n°2-60 -893 rendant application au périmètre d'Agadir et l'îlot d'aménagement de la partie sud-est de la zone périphérique de cette ville, certaines dispositions antisismiques en matière de construction. C'est le règlement provisoire applicable aux constructions dans la zone sinistrée d'Agadir dit « Normes Agadir 1960 ».

Ce règlement a pour domaine d'application, les constructions du type moderne à l'exclusion :

- des habitations rurales ;
- des immeubles de plus de 4 niveaux ;
- des ouvrages nécessitant des règles particulières tel que , ouvrage de production et de distribution d'électricité, réservoir d'eau, ouvrages d'art, etc.

Il est évident que ce règlement constitue l'acte de naissance de la parasismie au Maroc.. On comprend aisément que sa volonté primordiale est de régler la majeure partie des constructions. C'est aussi un renvoi inavoué explicitement, pour les constructions particulières, non visées par lui, à la recherche en matière de génie parasismique.

En 1972, une circulaire portant la référence 6019 TPC reconduit l'application des règles parasismiques françaises dites « PS 69 » en cas d'absence de toute réglementation marocaine. C'est alors et en raison de l'évolution de l'expérience parasismique vécue durant cette période, que ces règles remplacent purement et simplement les « Norme Agadir 60 ».

Les règles « PS 69 », se trouvent renforcées d'addendas, suite aux constatations faites après le séisme d'Al Asnam (Algérie) en 1980, notamment en matière de traitement des nœuds des structures.

En 1984, apparaissent les règles parasismiques françaises dites « PS 69, révisées et complétées en 1982 ». Auxquelles sont annexés les addendas 81 et suivants

En 1985, le DCTC achève la mise au point, du projet de normes marocaines parasismiques dites « règles parasismiques 1982 » proposant une démarche fort semblable aux « PS 69 » et aux quels est annexée une carte dite « Carte des zones de sismicité ». Il convient de noter que ces règles reflètent un effort important d'adaptation au contexte technico-socio-économique marocain.

En 1961, les pays membres de la Communauté Economique Européenne créent un organisme d'harmonisation des normes nationales européennes appelé : Comité Européen de Normalisation, le « CEN ». Il regroupe aujourd'hui seize pays et a pour mission essentielle l'élaboration du projet de normes européennes.

Le 29 octobre 1987 le « CEN » crée les comités techniques devant s'activer dans l'harmonisation des normes de construction. La parasismie est à l'ordre du jour. Il est évident qu'un tel travail, du point de vue purement technique, est très louable, sachant combien les normes nationales européennes sont différentes par leur forme et leur esprit (confrontation positive).

Fin de l'année 1990, était promise la sortie des Eurocodes attendus depuis presque 29 ans et devraient s'intituler :

- Règles Eurocode 1 : Règles unifiées communes
- Règles Eurocode 2 : Construction en béton.
- Règles Eurocode 3 : Structure en acier.
- Règles Eurocode 4 : Construction mixtes acier- béton
- Règles Eurocode 5 : Structures en bois.
- Règles Eurocode 6 : Structures en maçonneries.
- Règles Eurocode 7 : Fondations.
- Règles Eurocode 8 : Structures en zones sismiques.
- Règles Eurocode sans numéro – Action sur les structures.

En dehors de l'action positive de l'Europe, les textes en usage au Japon et aux Etas Unis d'Amérique, pays de notoriété incontestable en matière de parasismie, demeurent une source d'inspiration incomparable.

Il faut tout d'abord souligner, deux faits évidents :

1. le souci majeur et constant de la parasismie de tout le temps est d'assurer une sécurité relative des biens et des personnes ; C'est donc la mise en œuvre d'un processus en vue d'un objectif. Cet objectif est une fin en soi. Le processus quant à lui est un champ de recherche constante et qui s'enrichit à l'occasion de chaque séisme destructeur davantage.
2. Une construction parasismique est un édifice réalisé en respect des règles tant propres, de l'art, que parasismiques, avec la condition de prépondérance des règles parasismiques en cas de contradiction.

La sécurité est approchée en tant que seuil minimum de protection globale devant être requise. Il est vain de prétendre assurer une protection globale d'une construction contre les effets des séismes par la seule vertu de calculs dis parasismiques. Ces calculs qu'ils soient statistiques ou dynamiques ne donnent qu'une image conventionnelle de la réalité. Le véritable problème de la protection parasismique est celui de donner à une construction dans un site donné, le plus de chance de survivre à une secousse tellurique sans rupture ou sans déformation inacceptables de nature à compromettre sa stabilité.

L'expérience demeure la seule ressource d'information crédible de nature à valider les méthodes et les calculs. La réglementation est basée sur l'expérience plus que les calculs. D'ailleurs, on sait bien que réglementation et expérimentation sont liées, et qu'il n'est souvent pas besoin d'un modèle de calcul théorique pour élaborer une règle constructive.

La parasismie est une science qui a besoin d'être éprouvée et validée par l'expérience, mais il importe de savoir que chaque construction novatrice est un cas particulier auquel les règles ne suffisent pas forcément. C'est alors que malgré le carcan réglementaire, l'ingénieur peut exprimer des besoins qui proviennent de la spécificité des ouvrages étudiés, lorsque les règlements ne s'appliquent plus. Deux grandes familles de besoins apparaissent.

- La connaissance des comportements des matériaux et des milieux, en un sens assez général ;
- La validation des modèles de calcul.

Ces besoins touchent la conception des structures, et la géotechnique, mais plus particulièrement cette dernière, car la dynamique des sols n'a pas atteint le même degré de précision que la dynamique des structures.

### **DYNAMIQUE DES SOLS ET DYNAMIQUE DES STRUCTURES.**

En ce qui concerne les lois de comportement proprement dites, l'histoire de la dynamique a privilégié l'étude des comportements élastiques et linéaires, en petits déplacements ; Mais il faut bien reconnaître que la plupart des matériaux de construction, des sols de fondation et de béton armé de superstructures, n'ont pas ce comportement, en particulier dans les domaines de déformation atteints lors d'un séisme. L'hypothèse d'élasticité linéaire est alors encore plus contestable que dans les calculs de statique usuelle, car, en raison du caractère dynamique, les valeurs des efforts subis par la structure dépendent essentiellement des comportements. Le premier problème est donc la connaissance de la loi de comportement dynamique des matériaux, dans les domaines de déformation qui peuvent être atteints lors d'un séisme ce qui fait intervenir essentiellement les essais en laboratoire sur échantillon.

Aussi, l'étude des comportements s'intéresse à la modélisation. Un modèle de calcul théorique ayant subi la validation expérimentale, il est nécessaire de mesurer les paramètres physiques du modèle. Bien souvent, ces paramètres font appel à une connaissance « globale » du milieu. Les données expérimentales locales, et globales sont d'ailleurs souvent difficiles à relier, la réalité des comportements étant toujours plus complexes que les modèles théoriques, surtout en mécanique des sols.

Or il y a différence entre les modèles simples tels les calculs pseudo-statiques usuels, et les calculs dynamiques complexes. Les calculs simples sont bien souvent insuffisants et ne présentent la réalité que d'assez loin. Il y a donc un besoin pressant de calculs suffisamment précis, qui ne pourraient être validés qu'en liaison étroite avec l'expérimentation. La validation des modèles de calculs et une recherche a posteriori des comportements globaux. L'expérimentation doit intervenir avant l'établissement des modèles pour guider l'intuition et après pour la valider.

Dans le domaine des comportements des sols, le développement des méthodes d'imagerie sismique peut permettre de compléter très utilement les essais en laboratoires, qui ne donnent que des indications très partielles. Elles apportent des indications très utiles sur les champs de vitesse de propagation et d'amortissement des matériaux. Un autre besoin non suffisamment satisfait concerne une meilleure connaissance de capacité de liquéfaction des sols. A un niveau plus global, plusieurs phénomènes sont mal ou très mal connus comme la sur-poussée dynamique sur les écrans rigides ou souples, ou la stabilité des pentes et des talus en cours de séisme.

De façon générale, il faut noter la dispersion et l'imprécision des résultats, dues en particulier au fait que les mesures ne sont pas toujours faites dans les domaines de déformation et qui se produisent lors d'un séisme.

En ce qui concerne les ouvrages en béton, il faut bien rappeler que la connaissance des lois de comportement de béton armé en dynamique reste imprécise. Ceci a une influence sur l'appréhension du comportement des bâtiments eux-mêmes, mais également sur les spectres des planchers, et donc la conception parasismique des équipements.

Pour les comportements globaux, on dispose de résultats expérimentaux concernant les éléments simples : voiles, poteaux, poutres, portiques, mais rarement pour les assemblages. Or l'ingénieur a besoin d'introduire dans ses méthodes des valeurs raisonnables de certains paramètres, qui représentent en fait des comportements d'assemblages des éléments simples, soit sur un étage complet soit en élévation sur plusieurs étages. Il a besoin également d'évaluer l'influence des chaînages, des linteaux, des trémies... etc.

En conclusion, une double constatation s'impose, les moyens expérimentaux existent (tables vibrante, centrifugeuse, essais in situ ... etc.) où peut être envisagée l'étude de comportement global en vraie grandeur. D'autre part, la profession se pose un certain nombre de problèmes, liés à la conception ou à la construction, même si elle les exprime difficilement à cause de la réglementation.

Il existe donc tout un champ d'expérience souhaitable, qui rendrais un immense service et permettrai de faire évoluer la parasismie à la fois dans le sens d'une meilleure sécurité et de plus d'économie.

Pour certains architectes urbanistes, le règlement parasismique peut être considéré comme un frein à l'innovation ... C'est peut être vrais dans une certaine mesure propre à l'innovation en question.

L'architecte Japonais Kenzo Tange a dit, je cite :

*'Si l'architecte visualise toute les forces qui agissent sur la structure et disposent ces éléments de manière à conduire harmonieusement ces forces jusqu'au sol, il créera une œuvre sûre et belle.*

*La simplicité de la « Méthode statique » constitue une grande valeur conceptuelle, car grâce à elle l'architecte qui conçoit sa structure doit pouvoir visualiser un phénomène aussi complexe qu'un tremblement de terre qui agit dans n'importe quelle direction.*

*Elle permet ainsi l'appréhension des forces séismiques horizontales en tout points où s'exercent les charges verticales. L'architecte peut donc disposer harmonieusement les éléments conduisant ces forces au sol'.*

Fin de citation.

Une innovation s'inscrivant dans ce contexte ne peut être, au sens de la réglementation, que bien structurée. Une structure ainsi conçu même mal calculée ou mal réalisée, peut subir des dégâts importants avec peut de risque d'effondrement. Dans le même sens, la réglementation parasismique ou le coût économique ne peuvent écarter la solution de la construction en hauteur car si les « règles Agadir 60 » se limitaient en leur temps ou immeubles de quatre niveaux au plus, le restant de la réglementation dont les « RPS 82 » envisagent une gamme plus large y compris les constructions élevées. Il est démontré que le surcout de la parasismie dans le cas de constructions élevées est aussi économiquement abordable sinon moindre que dans le cas des constructions basses.

### **LES ISOLATEURS AMORTISSEURS, UNE AUTRE METHODE DE PROTECTION**

Une autre méthode de protection parasismique consiste en l'absorption de la majeure partie de l'énergie séismique par des isolateurs et amortisseurs. Ces isolateurs sont des appareils constitués de plaques d'acier et de caoutchouc naturel adhérentes entre elle par vulcanisation à chaud. Ils sont placés à la base de la construction dans l'axe des éléments porteurs de façon à s'intercaler entre les fondations et la structure de la construction.

Ces isolateurs offrent une rigidité élevée dans la direction verticale et autour des axes principaux horizontaux de la construction et une grande souplesse dans le plan horizontal et autour de l'axe vertical. Ce qui permet d'atténuer les accélérations, les efforts tranchants et les moments de renversements. Cette atténuation est de l'ordre de 8 à 10 fois par rapport à une construction encastrée dans le sol.

Cette technique est relativement jeune comparée aux méthodes traditionnelles, néanmoins richement consolidées par des essais sur modèles réduits en laboratoire. Bon nombre de constructions parasismiques en sont aujourd'hui équipés.

Dans la mesure où cette technique est validée par l'expérience il sera sans doute la solution de demain, car elle ne permettra pas seulement d'assurer une meilleure protection mais une régression du surcoût de la parasismie et la suppression des dommages non structuraux que la réglementation d'aujourd'hui passe sous silence pour raison de complexité.

Agadir constitue pour le Royaume, à plus d'un titre la ville symbole de par son histoire et de par sa position géographique. Je cite un autre passage du message de sa majesté le Roi Hassan II, je cite :

*« Que le nouveau paysage remodèle l'homme hanté par le seul souvenir, peut être serait-ce là le véritable et unique champ d'expérience suggéré par Agadir la neuve. Du moins celui-ci n'a-t-il rien d'un reniement et révèle-il le vrai génie de notre nation. Car, en delà du sujet de pleurs, du sujet de foi et de fierté. Nous nous plaisons à voir en Agadir un symbole vivant ».*

Fin de citation.

La commune urbaine d'Agadir-ville et la commune urbaine d'Anza relevant de la province d'Agadir Ida Outanane, sont les seuls territoires du Royaume où l'application des normes parasismiques est obligatoire pour toute construction, alors que le risque sismique est pratiquement le même pour tout le territoire national. Ce choix s'est révélé payant dans le sens où après la dernière secousse, le comportement de construction a été dans l'ensemble satisfaisant.

Le récent séisme japonais remet en cause plusieurs paramètres précédemment établis et souligne douloureusement la nécessité d'innover et de chercher pour assurer plus de protection afin de mieux préserver les vies humaines et leurs biens contre des séismes davantage destructeurs et davantage dévastateurs.

Il est établi que, hélas ! le Maroc n'est nullement à l'abri, et que notre zone, malgré qu'elle soit de sismicité moyenne n'exclue pas les secousses fortes et destructrices notamment le long de la côte atlantique et le long de la flexure pré-atlasique méridionale avec son étendue d'Agadir au Maroc à Gabès en Tunisie (responsable des séismes maghrébins).

Il est aussi établi que hormis les pertes sans prix que génèrent ces phénomènes telluriques, la reconstruction n'est guère de nos jours chose aisée, quelque soit les efforts et les sacrifices consentis. C'est pourquoi la prévention devient un choix stratégique que nous ne pouvons plus continuer à écarter, car la technique est suffisamment maîtrisée et le surcoût est largement réduit.

L'expansion effrénée de nos villes et agglomérations ne peut plus s'opérer dans la pleine vulnérabilité. La normalisation du risque sismique s'impose tout comme l'incendie et l'inondation. La prévention devient un devoir envers nos citoyens.

Par l'Ingénieur Conseil Mr Abdelmajid EL HOR en janvier 1994  
Directeur du bureau de Contrôle technique : CAPEC-MAROC