



Fonds de Solidarité contre les Evènements  
Catastrophiques



General Arab Insurance Federation



## Modélisation des risques naturels au Maroc

Département : Etude & Risk management

Auteurs :

- Allaoui Abdelhamid
- Amghar Lamya
- Oumechtaq Ismail
- Manal Mouadil
- Oulidi Abderrahim ; [abder.oulidi@gmail.com](mailto:abder.oulidi@gmail.com)

Mars 2023

## Abstract

Natural risk consists of two key components: hazard and vulnerability, which together represent the probability of a hazard occurring and the resulting consequences for vulnerable elements in a given environment.

In Morocco, a country that faces moderate exposure to various geological and climatic risks, floods, droughts, and earthquakes are the most frequent and costly natural hazards.

The devastating Al Hoceima earthquake, with a magnitude of 6.4 and over 600 fatalities, prompted the Moroccan government to develop a national strategy for managing natural risks. This strategy led to the adoption of Law 110-14 in 2016, which established mandatory coverage of natural hazards and the creation of the Solidarity Fund against Catastrophic Events (FSEC) in 2020.

The primary objective of FSEC is to compensate victims in the event of a natural disaster, such as floods, earthquakes, and tsunamis that have been officially declared as such. To achieve this goal, the fund conducts modeling studies and develops catastrophe models (CAT) based on hazard, vulnerability, exposure, and damage. These models enable FSEC to transfer risks through international parametric reinsurance and provide essential assistance to those affected by natural disasters.

The first section of this report describes the operational functioning of FSEC, while the second section focuses on risk recognition. The remaining sections provide an overview of the tools used for modeling the exposure and damage blocks, as well as the transfer of risks through parametric reinsurance.

## Table des matières

1.	Introduction.....	4
2.	Plan d'action du FSEC.....	7
2.1.	Connaissance du risque.....	7
2.2.	Transfert du risque.....	8
2.3.	Indemnisation.....	9
3.	Connaissance du risque : Modélisation déterministe et probabiliste.....	10
3.1.	Modèle aléa déterministe.....	10
3.1.1.	Cas d'inondation.....	10
3.1.2.	Cas tremblement de terre.....	10
3.2.	Modèle aléa probabiliste.....	10
3.2.1.	Cas inondation.....	10
3.2.2.	Cas de tremblement de terre.....	11
4.	Modèle Exposition.....	11
5.	Modèle dommage.....	12
6.	Connaissance du risque : utilisation de l'imagerie satellitaire en temps quasi-réel.....	14
7.	Utilisation des techniques d'apprentissage automatique dans les modèles CAT.....	15
8.	Conclusion.....	15

## 1. Introduction

Les économies développées et les plus avancées technologiquement ont de plus en plus du mal à faire face aux évènements récurrents de catastrophes naturelles telles que les inondations, les séismes, ou les tsunamis. Par risques naturelles, on entend les sinistres provoqués par les forces de la nature. Ces catastrophes sont très diverses tant par leur étendue géographique que par leur échelle de temps.

Le risque naturel est défini à partir de deux composantes fondamentales : Aléa et Vulnérabilité. Il correspond ainsi à la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné exposé au risque. Les pertes peuvent être estimées en termes de vies humaines, de destruction d'infrastructures ou en termes financiers. La capacité qu'a un aléa à causer des dommages résulte donc de ses caractéristiques propres, mais aussi des caractéristiques du milieu touché. Une analyse complète et fiable du risque ne peut donc s'affranchir d'un de ces deux éléments, à savoir l'aléa et la vulnérabilité, et doit intégrer de manière précise l'ensemble de leurs caractéristiques.

Le Maroc est exposé à un ensemble varié de risques géologiques et climatiques avec un niveau moyen. Les risques naturels les plus fréquents et les plus coûteux au Maroc sont les inondations, les sécheresses et les séismes. Ces évènements constituent une source potentielle de grandes pertes humaines et économiques conséquentes pour le Maroc. Les inondations, un phénomène lié principalement au changement climatique, sont devenues de plus en plus fréquentes. Les pertes annuelles causées par les inondations sont pratiquement 5 fois plus importantes que celles causées par les tremblements de terre au Maroc.

Selon l'étude de l'OCDE réalisée en 2016, les risques naturels qui ont affecté le MAROC ont causé des dégâts estimés comme suit :

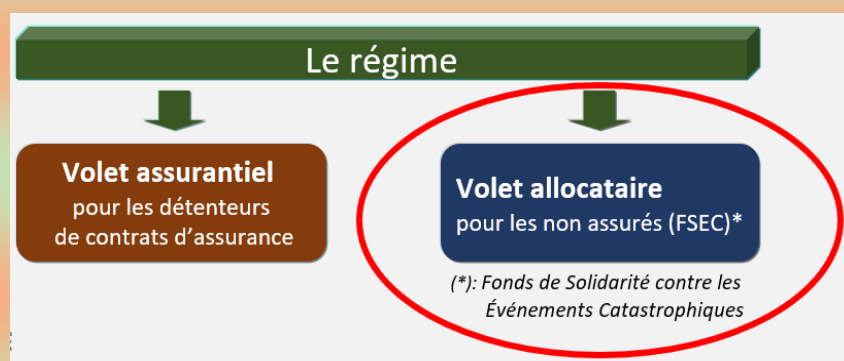
Tableau 1 : Principales catastrophes d'origine naturelle au Maroc 1960-2015

Risque	Nombre d'événements	Décès	Population totale affectée	Dégâts estimés ('000 US\$ courants)
Sécheresse	5	0	412.000,00	900.100,00
Tremblement de terre	3	12728	38.465,00	520.000,00
Inondation	32	1682	638.455,00	330.200,00
Tempête	3	50	117.000,00	300.050,00
Températures extrêmes	2	0	7.500,00	809,00
Pandémie	1	200	2.942,00	-
Glissement de terrain	1	1	12.216,00	-

Source : EM-DAT, Université Catholique de Louvain, 2015

La gestion des risques naturels au Maroc était dominée par une approche fragmentée et principalement réactive donnant la priorité à la réponse aux crises et demeurant très sectorielle. Les conséquences du tremblement de terre d'Al Hoceima de 2004 ont poussé le gouvernement du Maroc en 2008 à explorer d'une manière plus stratégique et intégrée les différentes options de gestion des risques naturels auxquels le pays est confronté. Soutenu par la banque mondiale, le Fonds mondial pour la réduction des catastrophes et de relèvement (GFDRR) et l'Agence suisse pour la coopération et le développement (DDC), à travers une série de programmes d'assistance technique, le gouvernement a abordé les risques des catastrophes naturelles dans le cadre d'un projet coordonné et interministériels. Ce projet a permis la mise en place d'un régime de couverture des risques catastrophique avec des solutions de gestion et de financement des risques, ce qui a abouti à l'adoption de la loi 110-14.

Le Fonds de Solidarité contre les Evénements Catastrophiques (FSEC), est instauré par la loi 110-14 (Article 15), est une personne morale de droit public dotée de l'autonomie financière. Le FSEC est soumis au contrôle financier de l'Etat applicable aux entreprises publiques ou autres organismes (Article 16).



Le Fonds de solidarité est administré par un conseil d'administration, présidé par le chef du gouvernement. Le conseil d'administration crée en son sein un comité d'audit dont la composition et

les missions sont fixées conformément aux dispositions de la loi n° 69-00 promulguée par le Dahir n° 1-03-195 du 16 Ramadan 1424 (11 novembre 2003), relative au contrôle financier de l'Etat sur les entreprises publiques et autres organismes. Il peut également créer, en son sein, tout comité consultatif dont il fixe la composition et les modalités de fonctionnement et auquel il peut confier l'instruction d'affaires déterminées.

Pour l'accomplissement de la mission du FSEC, la loi 110-14 a prévu la mise en place de deux commissions à savoir la Commission de Suivi et la Commission de Règlement des Différends.

- La Commission de Suivi a pour mission :

- Donner au Gouvernement un avis sur le caractère catastrophique d'un événement,
- Collecter les informations sur l'événement dont elle est saisie,
- Assister le FSEC dans l'évaluation des dommages suite à un événement catastrophique,
- Proposer à l'administration toute mesure visant l'amélioration du régime.

Au sein de cette Commission, il a été prévu de créer un Comité d'Expertise chargé exclusivement des conséquences des dommages causés aux résidences principales pour :

- Fournir une estimation globale et préliminaire des dommages occasionnés aux constructions,
- Donner un avis sur l'état des résidences endommagées,
- Evaluer les dommages occasionnés à chaque résidence rendue inhabitable,
- Evaluer le coût de reconstruction à neuf des parties endommagées de chaque résidence rendue inhabitable,
- Evaluer la valeur locative de chaque résidence rendue inhabitable.

- La Commission de Règlement des Différends, préalable à toute action judiciaire, et présidée par un magistrat, a pour mission de statuer sur tout différend opposant les victimes au FSEC. Elle est constituée pour chaque événement catastrophique

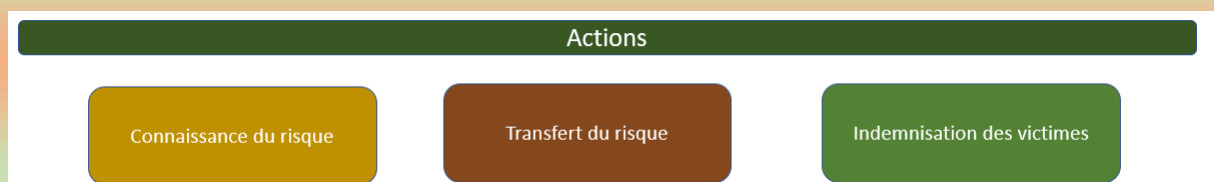
Le FSEC doit réaliser des études liées à la gestion des risques catastrophiques, établir une base de données statistique et financière, inter opérable et inter connectée, relative aux conséquences des événements catastrophiques. La source principale de financement du FSEC est une taxe parafiscale, il s'agit d'un taux de 1% sur contrat d'assurance non vie, en dehors des assurances accidents du travail. Ces ressources peuvent rapidement s'avérer très insuffisantes si un séisme de l'ampleur de celui qui a touché par exemple en 2004 la région de la ville d'AL Hoceima ou une inondation comme celle qui a touché la ville de Mohammedia en novembre 2002. La modélisation des risques de catastrophes naturelles, qui font partis des missions du FSEC, l'élaboration de stratégies optimales de transferts de ces risques, demeurent une mesure incontournable et une action prioritaire inscrite dans le plan stratégique du Fonds.

Les missions du FSEC sont cadrés selon les dispositions de l'article 17 de la loi 110-14 :

- Indemniser les victimes, ne disposant pas d'une couverture, des conséquences d'évènements catastrophiques naturelles (Inondation, TDT et Tsunami), ainsi que les évènements dû à l'homme (Le terrorisme, les émeutes et mouvements populaires) ;
- Accorder aux entreprises d'assurances et de réassurance des prêts, dans le cadre de conventions
- Contribuer à la garantie de l'état prévue par l'article 229-1
- Formuler des propositions et les communiquer à l'administration en vue d'améliorer le régime
- Etablir les données statistiques et financières relatives aux conséquences des évènements catastrophiques.
- Réaliser ou faire réaliser toute étude qu'il juge nécessaire à l'exercice de ses missions.

## 2. Plan d'action du FSEC

Le plan d'action du FSEC est illustré sur le schéma suivant :



### 2.1. Connaissance du risque

La connaissance du risque repose sur trois modèles distincts. Le premier modèle est le **modèle d'aléa**. Son objectif est de caractériser de manière physique l'impact d'un événement. Dans le cas des inondations et Tsunami, ce peut être en estimant, respectivement les débordements de cours d'eau et la hauteur de la vague responsables des dommages, alors que dans le cas des tremblements de terre se peut être en estimant l'accélération maximum du sol (PGA), le spectre d'accélération (SA) ou l'intensité de Mercalli modifiée (MMI). Le second modèle est le **modèle d'exposition**. Celui-ci permet de localiser les biens exposés et de les caractériser en termes de valeur, de caractéristiques telles que la nature du bien (maison, appartement, etc.), son occupation (locataire, propriétaire) et bien d'autres caractéristiques décrivant le bien (âge, type de construction, nombre d'étages, etc.). Enfin, le dernier modèle est le **modèle de dommages** qui va estimer les montants des pertes à partir du croisement entre l'aléa et l'exposition. Ce modèle est souvent calibré à partir des données de sinistralité historiques. Il permet aussi d'appliquer les différentes conditions d'assurance/réassurance telles que les seuils ou les franchises. Les dommages causés au bâtiment sont estimés à partir d'un paramètre choisi selon le type d'aléa, et ce via l'application de courbe de dommages associée à chaque classe de bien. Le résultat de l'utilisation des courbes de dommages est le MDR, Mean Damage Ratio, une estimation des dommages causés au(x) bâtiment(s) à une valeur donnée (Hauteur de l'eau, PGA, ...), exprimée en pourcentage des coûts de réparation par rapport aux coûts de remplacement de la

structure. Le résultat du modèle de dommages est une estimation des pertes à l'échelle du bien, d'une entité administrative (commune, province, etc.) ou encore du pays.

Le modèle CAT peut fonctionner de deux manières distinctes. La première est la **modélisation déterministe**. Celle-ci permet d'estimer l'impact d'un événement lorsqu'il survient. Ce qui peut être utile notamment pour anticiper les pertes occasionnées suite à un événement réel et pour réaliser des études de provisionnement. Le modèle d'aléa sera donc basé sur des données physiques relatives à l'événement. Le deuxième mode de fonctionnement est la **modélisation probabiliste**. Il s'agit d'étudier cette fois-ci des événements fictifs mais probables, représentatifs d'une très longue période de simulation (par exemple 1000 ans). Cette modélisation a de nombreuses utilités. Elle peut être utilisée pour mesurer l'exposition financière et ainsi réaliser des études de tarification, pour analyser l'exposition globale d'un territoire et effectuer des actions de prévention dans les zones les plus exposées.

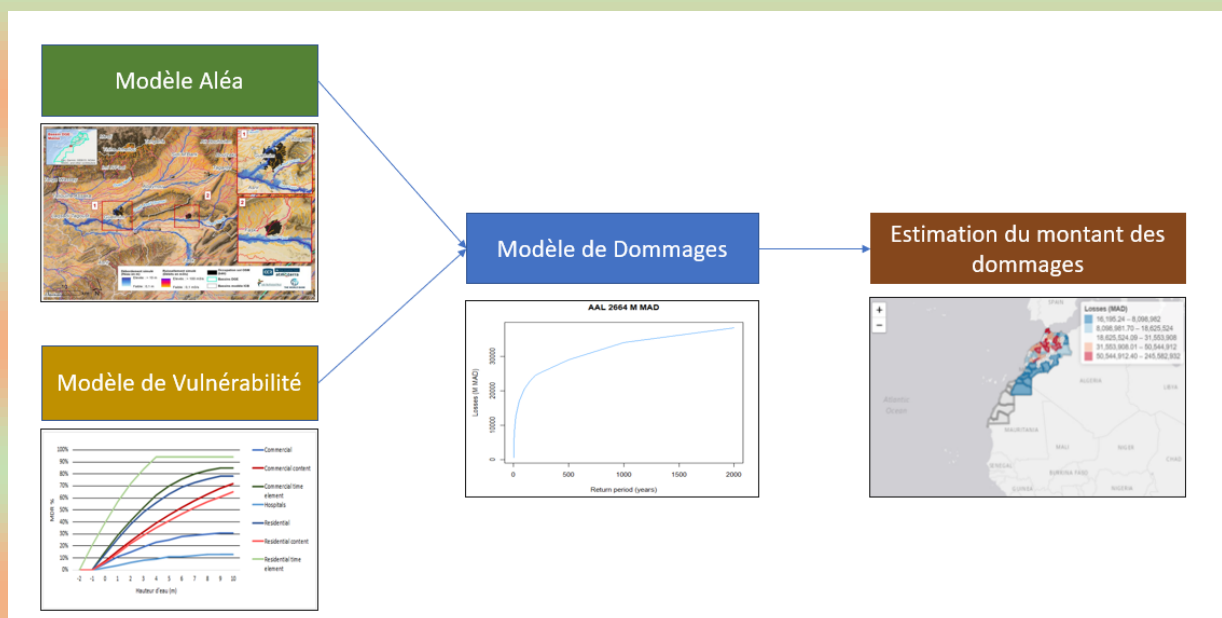


Figure 1 : Représentation schématique d'un modèle CAT inondation

## 2.2. Transfert du risque

Puisque le FSEC ne dispose pas de portefeuille assurantiel, afin de transférer le risque, le FSEC se base sur l'assurance paramétrique au lieu de l'assurance indemnitaire. Cette couverture paramétrique est caractérisée par sa transparence et sa rapidité, par contre elle a un risque de base qui est élevé. Pour chaque aléa un paramètre est prédéfini sur la base de la connaissance du risque, à savoir le PGA ou SA en cas de séisme, la Hauteur de l'eau en cas d'inondation et la hauteur de la vague pour le risque Tsunami. Ces paramètres peuvent être modélisés à l'aide des modèles commerciaux de catastrophe naturelle comme par exemple AIR, EQECAT, RMS ou OASIS.

L'élaboration de stratégies optimales de transferts de ces risques, demeurent une mesure incontournable et une action prioritaire inscrite dans le plan stratégique du Fonds.



## 2.3. Indemnisation

Le régime FSEC, chargé de l'indemnisation des victimes non assurées en cas de catastrophe tel que défini par la loi 110-14. Les victimes d'un évènement catastrophique, sont éligibles aux indemnités accordées par le Fonds de solidarité lorsqu'elles ne sont pas couvertes par ailleurs contre les conséquences dudit évènement catastrophique.

Le fonds indemnise les victimes d'un évènement catastrophique qui ne sont pas couvertes par ailleurs ou lorsque l'indemnité de la couverture est inférieure à celle prévue par le fonds, dans ce cas le fonds intervient en complément. L'indemnisation assurée par le FSEC est subdivisée en deux catégories :

- **Préjudice corporel**

Les personnes ayant subi un préjudice corporel occasionnent directement par l'évènement catastrophique, y compris les personnes prenant part aux actions de secours, de sauvetage et de sécurisation liés à cet évènement, ou leurs ayants droit, en cas de décès ou de disparition desdites personnes.

- **Préjudice matériel Perte de résidence principale ou privation de jouissance**

Les membres d'un ménage dont la résidence principale est rendue inhabitable directement par ledit évènement. Le montant de l'indemnité due à la victime ou à ses ayants droit ne peut excéder 70% des montants calculés conformément aux dispositions de la loi 110-14.

### 3. Connaissance du risque : Modélisation déterministe et probabiliste

#### 3.1. Modèle aléa déterministe

##### 3.1.1. Cas d'inondation

La méthodologie proposée pour l'estimation de l'aléa inondation au Maroc comprend trois étapes :

1. Déterminer les lames d'eau précipitées par pas de temps horaire ;
2. Calculer la lame d'eau qui s'infiltré et celle qui va s'écouler et déterminer le débit résultant dans les cours d'eau ;
3. Calculer le débordement des cours d'eau résultant.

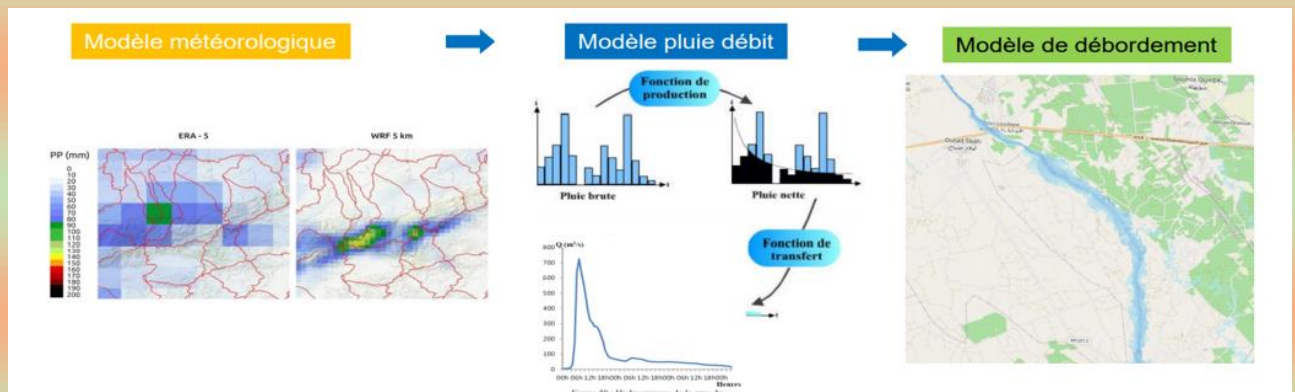


Figure 2: Les étapes de la modélisation aléa inondation

##### 3.1.2. Cas tremblement de terre

La méthodologie proposée pour l'estimation de l'aléa tremblement de terre au Maroc comprend trois étapes :

1. La sélection de l'évènement contrôleur représentant la magnitude la plus élevée ;
2. Le choix de la loi d'atténuation approprié à la zone ;
3. Calcul des paramètres PGA ou SA ;

#### 3.2. Modèle aléa probabiliste

##### 3.2.1. Cas inondation

L'objectif du modèle probabiliste est de simuler des événements fictifs, mais réalistes, afin de mesurer quel pourrait être l'impact d'événements plus extrêmes que ceux disponibles à l'historique. L'aléa probabiliste développé dans le cadre de ces travaux repose sur 4 grandes étapes :

1. Analyse fréquentielle des données pluviométriques historiques ;
2. Reconstitution de cumuls de précipitations fictifs à l'aide d'une méthode de copules ;
3. Génération de hyétogrammes ;
4. Simulation pluie débit et le débordement.

### 3.2.2. Cas de tremblement de terre

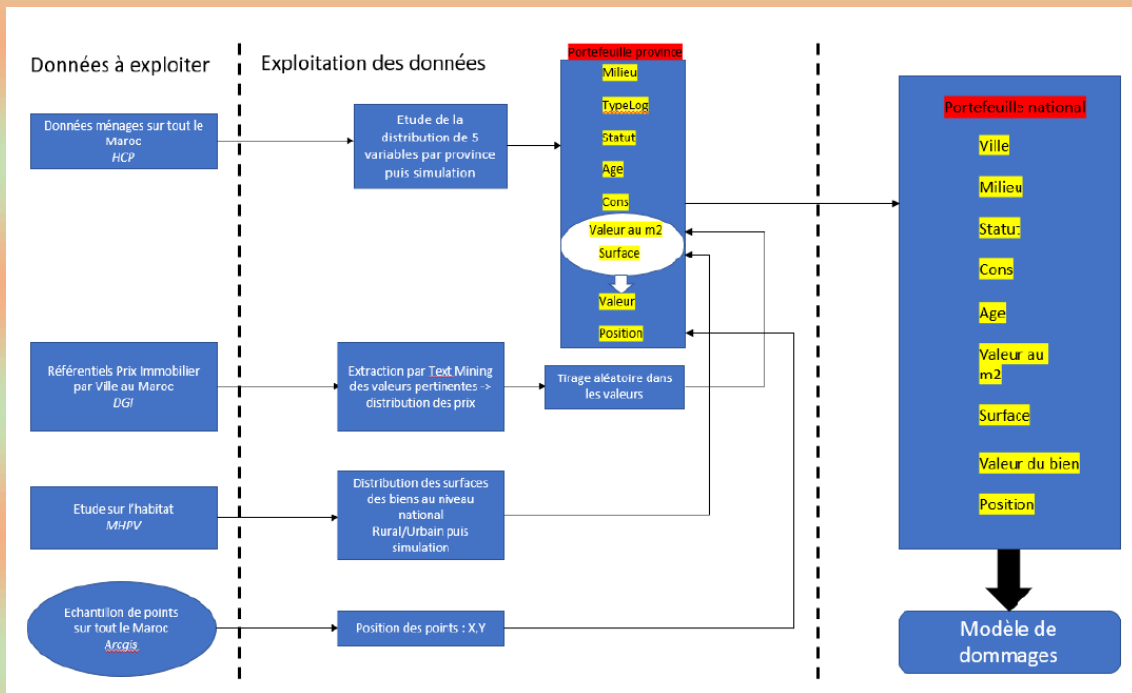
Les étapes de la modélisation probabiliste tremblement de terre sont :

1. Préparation d'un catalogue contenant les évènements historiques ;
2. Etablir un zonage sismotectonique ;
3. Choix de la loi de distribution des évènements historiques ;
4. Détermination de la période de retour ;
5. Détermination de la loi d'atténuation la plus appropriée à chaque zone sismotectonique ;
6. Etablissement des cartes d'aléa probabiliste ;

## 4. Modèle Exposition

La méthode de génération du portefeuille de biens exposés pour le régime allocataire marocain présente cinq étapes :

1. Construction des échantillons de points ;
2. Association des données de ménages (Données HCP 2014) aux échantillons de points par tirage aléatoire :
  - Le Milieu (rural ou urbain),
  - Le type de logement (maison, appartement ou villa),
  - Le statut de l'occupant (propriétaire ou locataire),
  - L'ancienneté du logement (ancien ou récent)
  - Le type de construction :
    - Béton armé / Briques en terre cuite / Parpaings ;
    - Bois récupère / étain / Herbe / Bambou ;
    - Pierres scellées avec de la terre ;
    - Pierres scellées avec du mortier ;
    - Pisé / Briques de terre crue.
3. Récupération des coûts à la construction par m<sup>2</sup> (Référentiel des prix immobilières DGI) ;
4. Estimation de la superficie des bâtiments à partir d'un tirage aléatoire (Etude MHPV 2016) ;
5. Estimation de la valeur du bien : valeur au m<sup>2</sup> \* la surface.



## 5. Modèle dommage

Le modèle de dommages a pour objectif de calculer le montant des pertes à partir de l'aléa et de l'exposition. Dans le cadre de la mise en place du régime d'allocations aux victimes des risques naturels, le schéma de calcul de dommage suivant a été mis en place :

- Lorsqu'un propriétaire voit sa maison touchée, le montant de l'indemnité est calculé comme étant la somme de la perte de résidence et de la perte de jouissance. La perte de résidence correspond au minimum entre la valeur des dommages D, 70% coût de reconstruction à neuf et une limite de 250 000 MAD. La perte de jouissance est calculée comme étant 6 fois la valeur locative du bien avec la valeur locative comprise entre 1 000 et 4 000 MAD ;
- Pour les locataires, le montant de l'indemnité est fixé à 3 fois la valeur locative, qui doit également être comprise entre 1 000 et 4 000 MAD.

Enfin, il faut noter que pour que le bien soit indemnisé, il faut qu'il soit considéré comme inhabitable.

Le modèle de dommages estime pour chaque bien la valeur des dommages D comme étant le produit entre :  $D = TD * V$ , où TD correspond au taux de destruction, V à la valeur du bien, associée uniquement au contenant.

Le taux de destruction est calculé à partir de la fonction d'endommagement. Il correspond au montant du sinistre sur la valeur du bien. Il existe dans la littérature de nombreux courbes de dommages permettant de calculer ce taux en fonction des caractéristiques du bien.

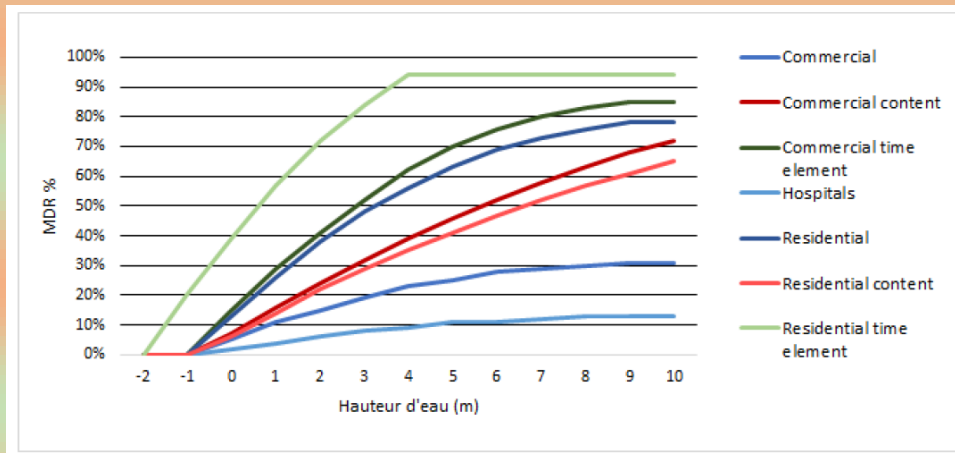
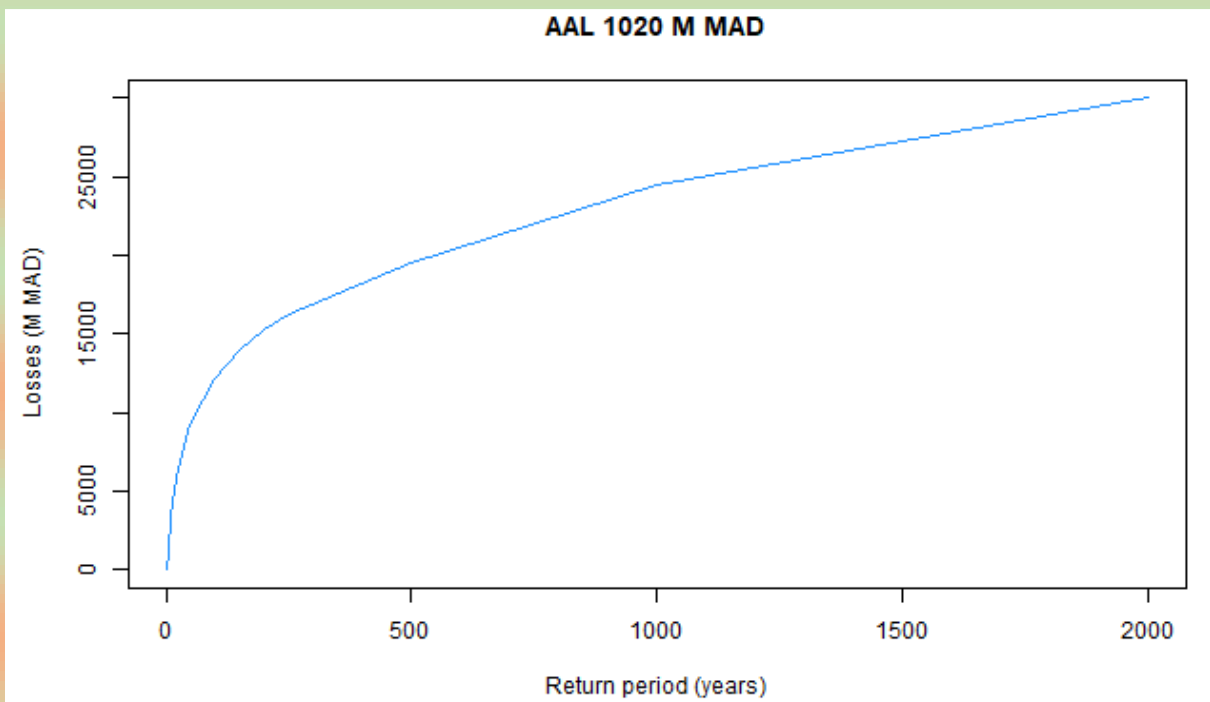


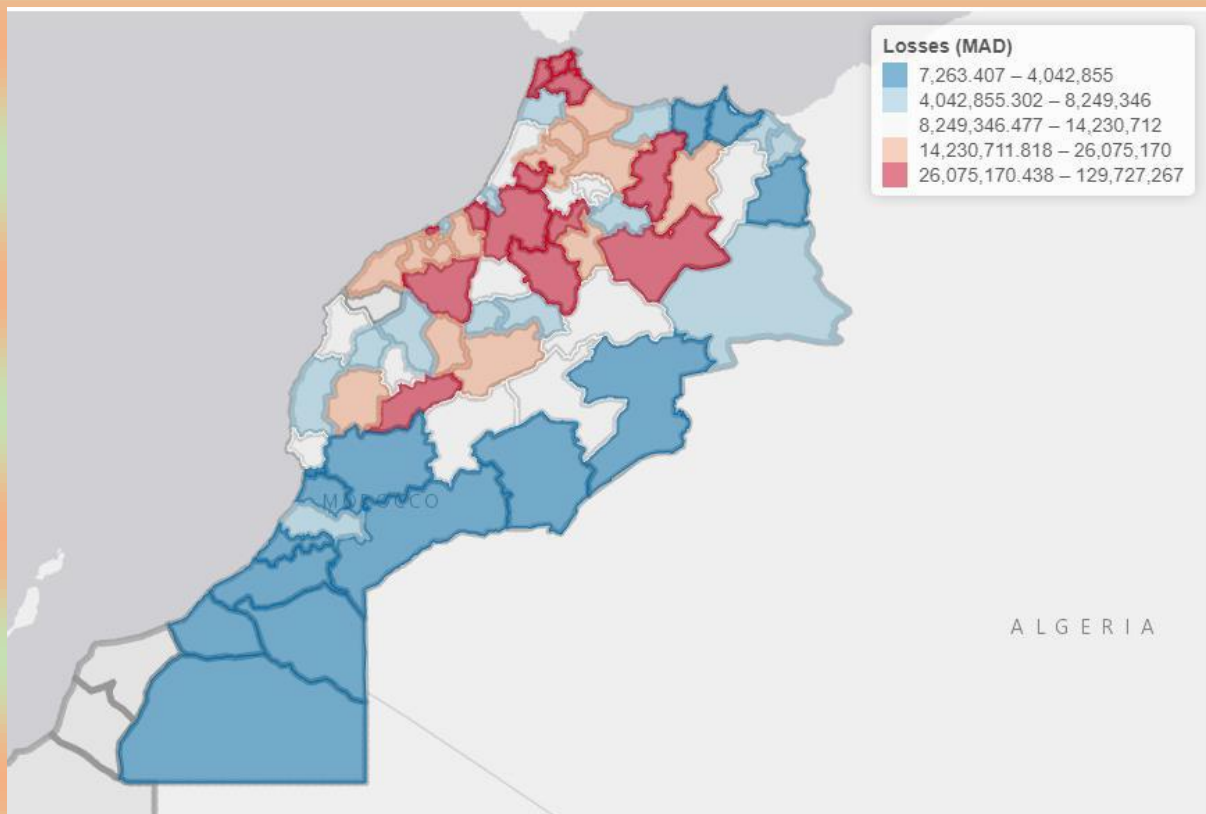
Figure 3. Exemple de courbes de dommages développées par MnhPRA pour la catégorie de risque "particuliers" (Source : MnhPRA 2012, Morocco Vulnerability Report, p49)

Il faut noter que pour que le bien soit indemnisé, il faut qu'il soit considéré comme inhabitable. Un seuil d'inhabitabilité  $S$  est utilisé. Ce seuil correspond à un taux de destruction en dessous duquel le montant des dommages est nul :  $D(TD < S) = 0$ .

Le résultat de la modélisation des dommages permet d'estimer la distribution des pertes en fonction de la période de retour, notamment sous la forme de l'Excedence probability curve (EP Curve)



Les résultats peuvent également être représentés sous forme cartographique comme le montre la figure ci-dessous avec les pertes par province.



## 6. Connaissance du risque : utilisation de l'imagerie satellitaire en temps quasi-réel

Le FSEC envisage l'utilisation des techniques de la télédétection via l'utilisation des images satellites dans le suivi et l'évaluation des dégâts causés par des catastrophes naturelles à savoir les inondations et les tremblements de terre.

L'analyse et l'exploitation des images satellites, permet de fournir rapidement et efficacement les éléments d'aide à la gestion et la prise de décision en termes d'identification de l'étendue des zones sinistrées, de l'évaluation de la gravité du sinistre, de l'estimation de ses dégâts et du suivi de son évolution en temps quasi-réel.

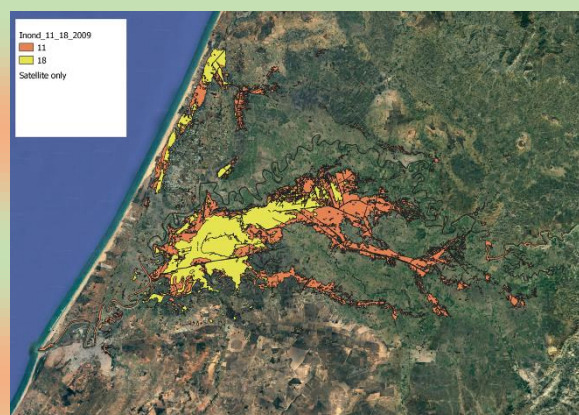


Figure 3 : Suivi de l'évolution de l'évènement d'inondation EL Gherb en 2009 - CRTS

## 7. Utilisation des techniques d'apprentissage automatique dans les modèles CAT

La modélisation des catastrophes naturelles s'est largement concentrée sur les techniques statistiques traditionnelles, mais elle est désormais consciente du potentiel de l'apprentissage automatique. Le machine Learning est un champ d'étude de l'intelligence artificielle qui vise à donner aux machines la capacité d'apprendre à partir de données, via des modèles mathématiques.

Le FSEC est entrain de développer un modèle d'apprentissage automatique en vue de cartographier les bâtiments résidentiels dans le territoire marocain. Ce modèle est basé sur l'algorithme du Random Forest (foret aléatoire).

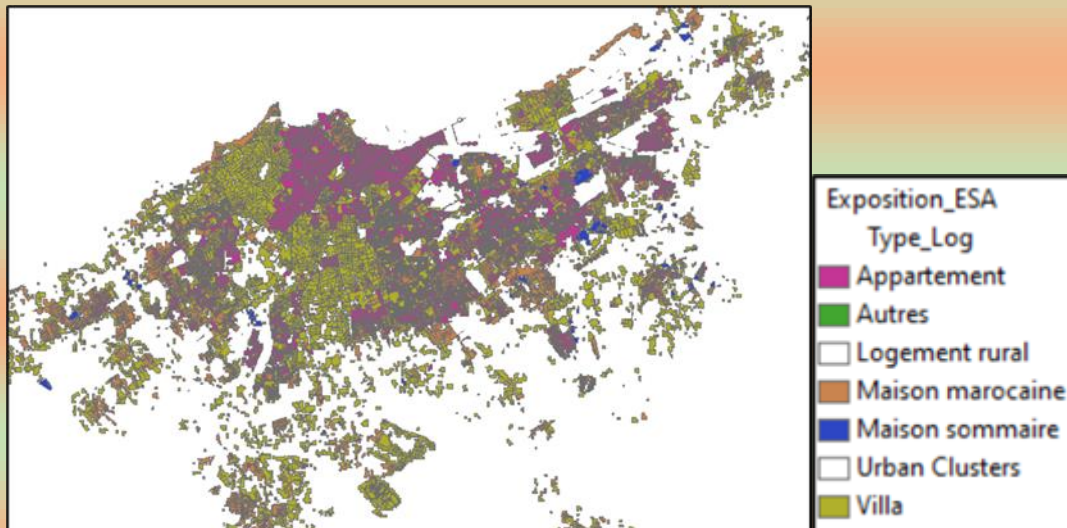


Figure 4: Classification des bâtiments par IA

## 8. Conclusion

La modélisation des catastrophes naturelles dans une optique assurantielle est un exercice complexe. Il s'agit de représenter de manière simplifiée des processus physiques pour estimer les conséquences d'une catastrophe, puis d'appliquer des modèles mathématiques afin de prédire les conséquences financières de celle-ci. Il existe un certain nombre de modèles commerciaux permettant de modéliser les catastrophes telles qu'AIR, RMS, EquiCat, cependant un modèle CAT a toujours besoin d'être adapté sur le territoire où il est appliqué afin d'offrir de bons résultats. Le modèle CAT, présenté dans cet article, repose sur une chaîne de modèles partant de la physique de l'événement, pour aller jusqu'à des modèles statistiques pour l'estimation des montants financiers.