

Impact prospectif du changement climatique sur les inondations par débordement

Aurélien AUGER

Accenture

SOMMAIRE

01

Cadre de l'étude : changement climatique, inondations et assurance

02

Modélisation climatique : le risque d'inondation par débordement

03

Modélisation actuarielle : quantification du risque sur une base d'expositions (MRH)

04

Analyse de l'impact du changement climatique : 2024 vs 2050

05

Sensibilités, perspectives et conclusion

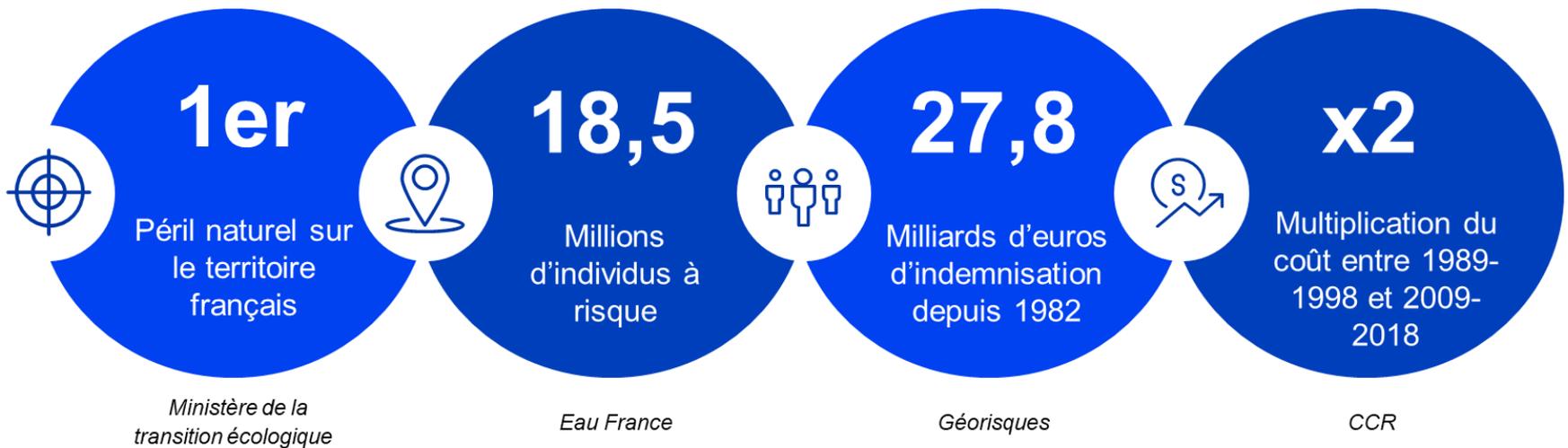
01

Cadre de l'étude : changement climatique,
inondations et assurance

ASSURANCE ET INONDATIONS

1 • Cadre de l'étude : changement climatique, inondations et assurance

L'inondation, définie comme une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors de l'eau, est un péril climatique **assuré** au titre du régime Catastrophes Naturelles (CatNat) depuis 1982.



LES INONDATIONS PAR DÉBORDEMENT

1 • Cadre de l'étude : changement climatique, inondations et assurance

On parle **d'inondation par débordement** d'un cours d'eau lorsque ce dernier déborde de son lit habituel.

Constat

- Environ **1/3 des logements** français sont exposés au risque d'inondation par débordement
- Augmentation de la fréquence de **pluies extrêmes** sous le réchauffement climatique (*GIEC*)
- Augmentation de la sinistralité : **+ 110 %** à horizon 2050 à l'échelle nationale (*Livre blanc Covéa, RCP 8.5*)

Besoin

- **Modéliser** le risque d'inondation lié au débordement d'un cours d'eau
- **Projeter** le risque selon un scénario climatique
- **Développer** une stratégie optimale de gestion du risque pour un assureur

Problématique

Dans quelle mesure peut-on développer une modélisation entièrement répliquable visant à quantifier l'impact du changement climatique sur le débordement d'un cours d'eau ?

CHOIX DU CADRE SPATIAL DE L'ÉTUDE

1 • Cadre de l'étude : changement climatique, inondations et assurance

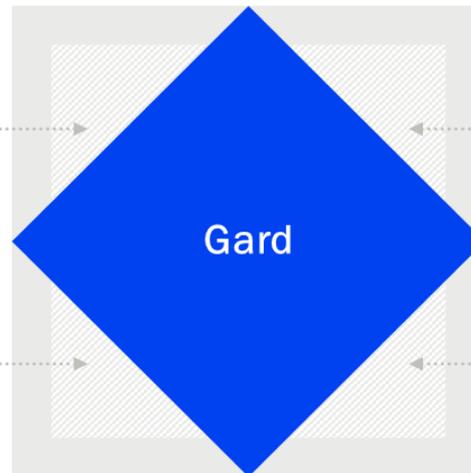
L'objectif est d'appliquer la modélisation développée sur un cours d'eau particulier pour apprécier la finesse des résultats. La **ville d'Alès**, traversée par le Gardon d'Alès, sera étudiée pour ses caractéristiques climatiques et topologiques.

Forte fréquence

- Parmi les zones les plus sinistrées depuis 1995 (CCR)
- Des pluies de plus en plus extrêmes à venir (GIEC)

Richesse hydrologique

- Un fleuve et plusieurs cours d'eau majeurs
- Épisodes cévenols (fortes pluies)



Forte sinistralité

- Parmi les départements les plus coûteux depuis 1995 (CCR)
- Une sinistralité croissante à l'horizon 2050 (Covéa)

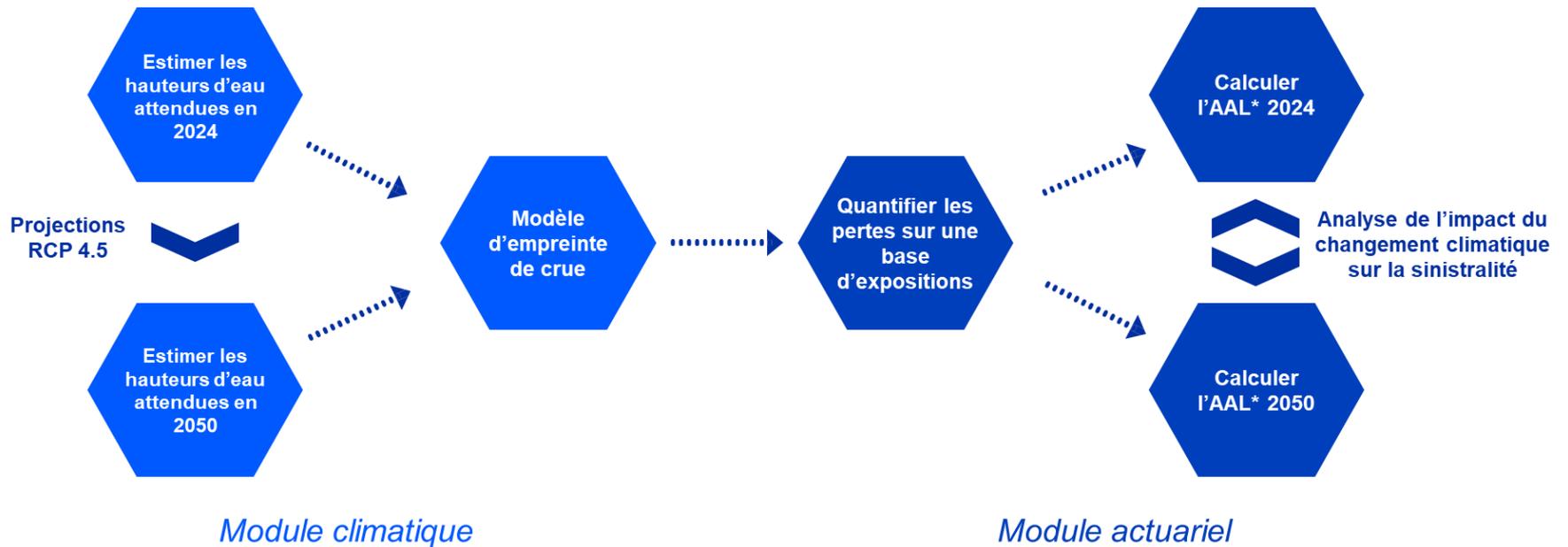
Disponibilité des données

- Historique fiable de hauteurs d'eau relevées à la station
- Courbe de tarage

MÉTHODOLOGIE GLOBALE

1 • Cadre de l'étude : changement climatique, inondations et assurance

*Average Annual Loss



02

Modélisation climatique : le risque
d'inondation par débordement

DÉMARCHE GÉNÉRALE

2 • Modélisation climatique : le risque d'inondation par débordement

01

Présentation des données hydrométriques utilisées

02

Application de la théorie des valeurs extrêmes

03

Analyse des périodes de retour des inondations

04

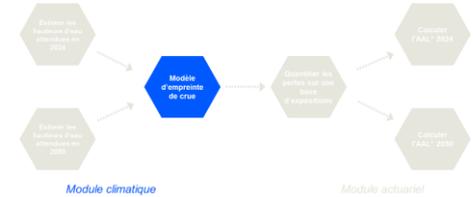
Développement d'un modèle d'empreinte de crue

05

Validation de la modélisation climatique

MODÈLE D'EMPREINTE DE CRUE

2 • Modélisation climatique : le risque d'inondation par débordement



RÉCUPÉRATION DE BASES DISPONIBLES EN OPEN DATA

Données **hydrologiques** : localisation et propriétés du cours d'eau analysé (BD Carthage)
 Données **altimétriques** (MNT) : connaître l'altitude de la zone à une résolution de 5 mètres (RGE ALTI 5m)

UTILISATION DU LOGICIEL SAGA GIS

Adapter le modèle numérique de terrain (MNT) à l'analyse des inondations

SORTIE DU MODÈLE D'EMPREINTE DE CRUE

Obtenir une carte des zones inondées avec la hauteur d'eau associée

1

2

3



Récupération du fichier *shapefile* de la rivière



60	62	62	60	59
61	55	60	59	59
60	56	57	57	60
61	61	62	59	62
61	60	61	60	60

Sortie du module *Shapes To Grid* (altitude en m)



5	7	7	3	2
6	0	3	2	2
4	0	0	0	3
5	5	3	0	3
5	4	2	1	1

Sortie du module *Vertical Distance To Channel Network* (altitude en m)

Sortie du modèle

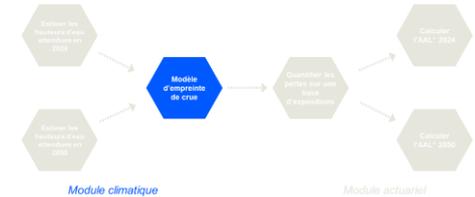
Hauteur d'eau habitation

=

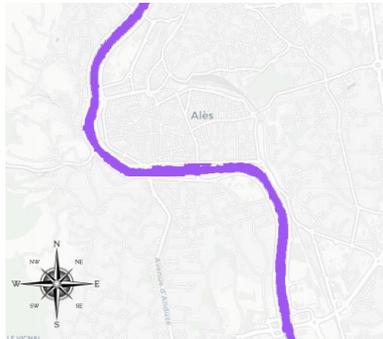
| Hauteur relevée à la station – Altitude habitation |

VALIDATION DU MODÈLE CLIMATIQUE

2 • Modélisation climatique : le risque d'inondation par débordement



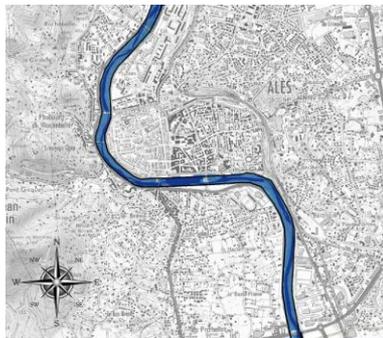
Modèle vs TRI scénario **fréquent**
(3.6m)



Modèle vs TRI scénario **extrême**
(7.3m)



Zones
inondées



Zones
inondées

Validation

Recall = 0.88
Precision = 0.99
F1-score = 0.93

Recall = 0.98
Precision = 0.91
F1-score = 0.95

Métriques

- **Recall** : capacité à détecter les vrais pixels inondés

$$Recall = \frac{VP}{VP + FN}$$

- **Precision** : mesure la surestimation des zones inondées

$$Precision = \frac{VP}{VP + FP}$$

- **F1 score** : mesure la performance globale du modèle

$$F1\ score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

03

Modélisation actuarielle : quantification du risque sur une base d'expositions MRH

DÉMARCHE GÉNÉRALE

3 • Modélisation actuarielle : quantification du risque sur une base d'expositions MRH

01

Présentation des données utilisées

02

Récupération des expositions de la zone d'étude

03

Estimation des valeurs foncières

04

Calcul des sommes assurées

05

Quantification du risque en 2024

LA RICHESSE DE L'OPEN DATA

3 • Modélisation actuarielle : quantification du risque sur une base d'expositions MRH



Base des DPE

*Localisation
Type de bien
Superficie*



Base DVF+

*Valeur foncière des biens
Estimation prix au m²*



Base INSEE

*Base carroyée 2019 (1km)
Niveau de vie*

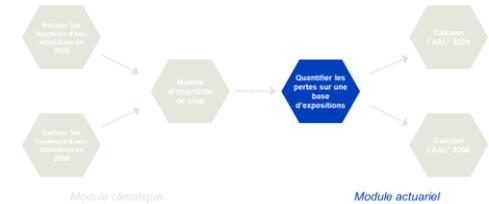


Benchmark interne

*Portefeuille MRH fictif
Sommes assurées*

IDENTIFICATION DES EXPOSITIONS

3 • Modélisation actuarielle : quantification du risque sur une base d'expositions MRH



Superficie des habitations (DPE)

- Trois bases récupérées
- Retraitements sur Python



Valeur foncière des habitations (DVF+)

- Mettre les valeurs foncières en « AS-IF 2024 »
 - Indexer sur l'indice du coût de construction de la Fédération Française du Bâtiment (ICC FFB)
- Calculer le prix au m² par type de bien

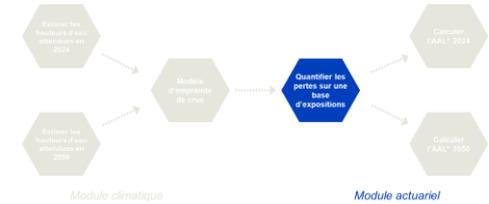


Visualisation des expositions

Type de bien	Prix m ² estimé	Référence 1	Référence 2
Maison	2 116 €	2 179 €	2 121 €
Appartement	1 423 €	1 592 €	1 603 €

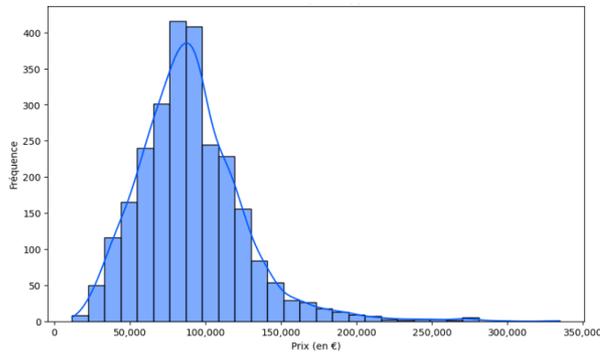
CALCUL DES SOMMES ASSURÉES

3 • Modélisation actuarielle : quantification du risque sur une base d'expositions MRH

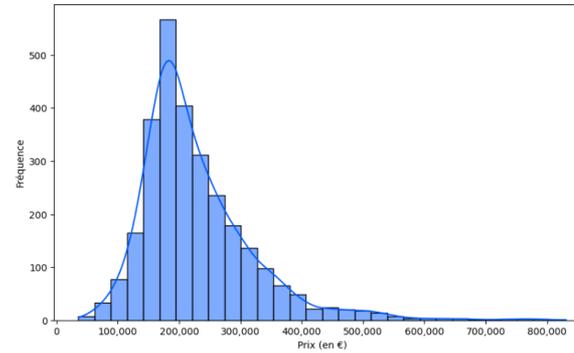


$$\text{Somme assurée bâti} = \text{Superficie} * \text{Prix m}^2$$

DPE
DVF+



Distribution - Appartements



Distribution - Maisons

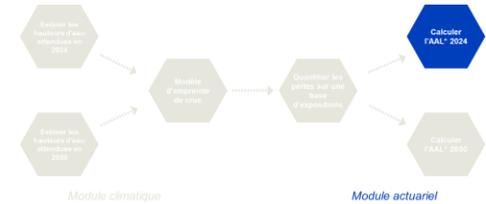


Somme assurée du contenu

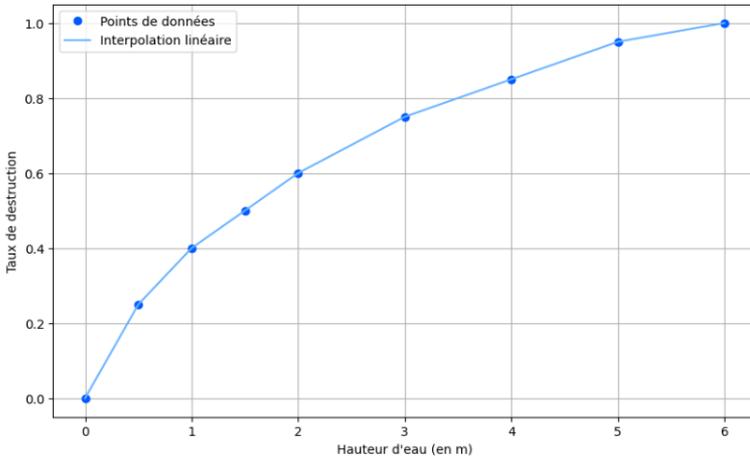
- Si la commune étudiée **est** dans la base interne
 - Récupération du ratio moyen des sommes assurées (SA bâti / SA contenu) par type de bien et commune
- Si la commune étudiée **n'est pas** dans la base interne
 - Utilisation de la base INSEE pour récupérer le ratio moyen des sommes assurées de la commune ayant le **niveau de vie moyen le plus proche** de la commune ciblée

QUANTIFICATION DU RISQUE

3 • Modélisation actuarielle : quantification du risque sur une base d'expositions MRH



1 Transformer une quantité physique en perte assurantielle



Courbe de vulnérabilité issue du JRC

3 Obtention de l'AAL 2024

Diviser par période de retour

Période de retour (années)	Hauteur d'eau (mètres)	Pertes assurantielles (euros)	Contribution à l'AAL 2024 (euros)
2	1.95	0	0
5	2.69	0	0
10	3.27	0	0
20	3.92	0	0
50	4.89	25 963 086	519 262
100	5.73	87 757 923	877 579
200	6.69	129 447 332	647 237
			2 044 078

Sinistralité attendue en 2024

2 Métrique de quantification : Average Annual Loss

$$AAL = \sum_{i=1}^7 \text{probabilité}_i * \text{perte}_i$$



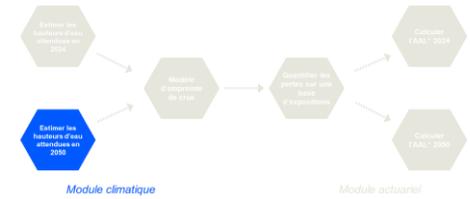
Est-il possible d'estimer cette métrique dans un horizon prospectif ?

04

Analyse de l'impact du changement
climatique : 2024 vs 2050

HAUTEURS D'EAU ATTENDUES EN 2050

4 • Analyse de l'impact du changement climatique : 2024 vs 2050



DÉFINIR LE CADRE PROSPECTIF

Horizon temporel : 2050
Scénario climatique : RCP 4.5

Exercice climatique ACPR (2023)

1

DONNÉES CLIMATIQUES EN OPEN DATA

% d'augmentation des débits de crue de période de retour de 2, 5, 10 et 50 ans

SMHI x Copernicus

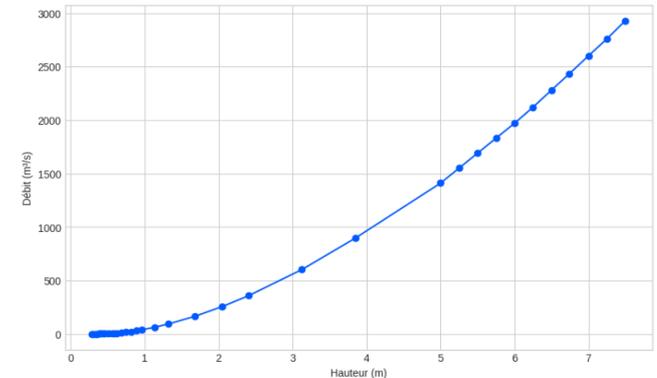
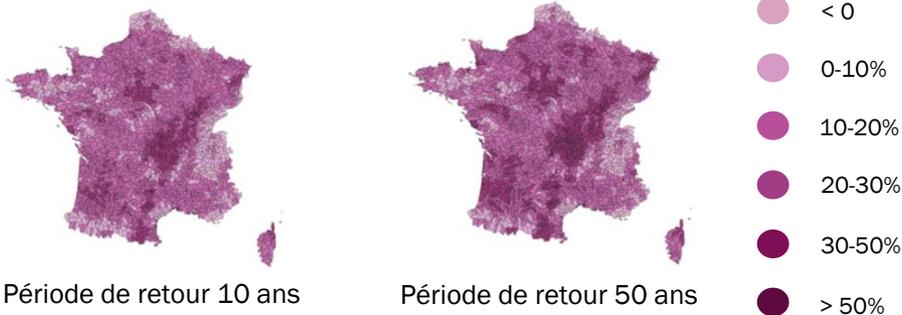
2

UTILISATION D'UNE COURBE DE TARAGE

Lien entre débits et hauteurs d'eau relevés à la station hydrométrique

Hydroportail

3



Courbe tarage – Gardon d'Alès

UNE MODÉLISATION PARALLÈLE

4 • Analyse de l'impact du changement climatique : 2024 vs 2050



% d'augmentation débits en 2050

PDR (années)	Évolution débits 2024-2050
2	14.5 %
5	21.1 %
10	23.7 %
50	27.4 %

Courbe de tarage

PDR (années)	HE 2024 (m)	HE 2050 (m)
2	1.95	2.07
5	2.69	2.97
10	3.27	3.66
50	4.89	5.57

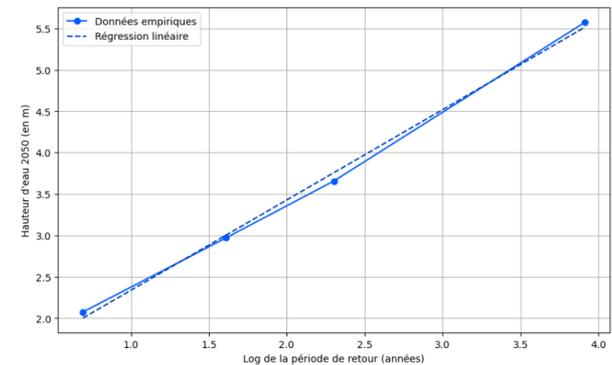
Relation linéaire HE - log(PDR)

AAL 2050

Empreintes de crue et Base Expo

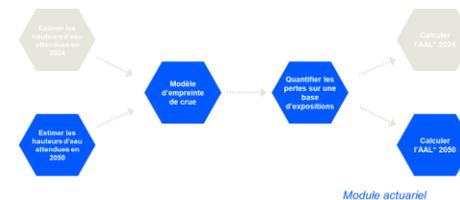
PDR (années)	HE 2050 (m)
2	2.07
5	2.97
10	3.66
20	4.51
50	5.57
100	6.27
200	7.03

Prédiction régression linéaire



UNE MODÉLISATION PARALLÈLE

4 • Analyse de l'impact du changement climatique : 2024 vs 2050



Sinistralité attendue en 2024

PDR (années)	HE 2024 (m)	Pertes assurantielles (€)	Contribution AAL 2024 (€)
2	1.95	0	0
5	2.69	0	0
10	3.27	0	0
20	3.92	0	0
50	4.89	25 963 086	519 262
100	5.73	87 757 923	877 579
200	6.69	129 447 332	647 237
			2 044 078

Sinistralité attendue en 2050

PDR (années)	HE 2050 (m)	Pertes assurantielles (€)	Contribution AAL 2050 (€)
2	2.07	0	0
5	2.97	0	0
10	3.66	0	0
20	4.51	21 253 994	1 062 700
50	5.57	80 102 656	1 602 053
100	6.27	111 721 601	1 117 216
200	7.03	144 041 742	720 209
			4 502 178

Résultat final estimé

+ 120 % d'augmentation de la sinistralité à horizon 2050

UN INTÉRÊT EN CONTEXTE OPÉRATIONNEL

4 • Analyse de l'impact du changement climatique : 2024 vs 2050

Souscription

Double matérialité : maîtrise du risque et conservation de la clientèle

- Ajustement de la politique en vue de l'ORSA
- Enjeu de **désengagement** (*bonus-malus* fiscal soutenu dans le rapport Langreney)

Tarification

Ajustement de la tarification face à l'augmentation de la sinistralité

- Suivi de la réévaluation de **la surprime CatNat**
- Différents leviers pour les assureurs : variation des garanties, augmentation des primes ...

Provisionnement

Une méthode d'estimation des coûts futurs

- L'AAL 2024 comme indicateur de la sinistralité à court terme
- Une vision long terme pour **développer une stratégie**

05

Sensibilités, perspectives et conclusion

ÉTUDE DES SENSIBILITÉS

5 • Sensibilités, perspectives et conclusion

1

CHOC SUR LES HAUTEURS D'EAU ATTENDUES EN 2024

Baisse de 5%
Hausse de 5%

	Baisse	Hausse
AAL 2024	1 777 323 €	2 308 035 €
AAL 2050	3 019 934 €	5 127 269 €
% augmentation (Δ)	70 % (-50 pt)	122 % (+2 pt)

- La hauteur d'eau vicennale en 2050 ne génère **pas de perte** dans le scénario à la baisse contrairement aux autres

2

CHOC SUR LES HAUTEURS D'EAU CONSIDÉRÉES COMME CENTENNALES OU BICENTENNALES EN 2050

Baisse de 5%
Hausse de 5%

	Baisse	Hausse
AAL 2024	2 044 078 €	2 044 078 €
AAL 2050	4 289 898 €	4 707 584 €
% augmentation (Δ)	110 % (-10 pt)	130 % (+10 pt)

- Variation symétrique cohérente, **validant** l'utilisation de la régression linéaire

3

PRISE EN COMPTE DE L'ÉVOLUTION DU CONTEXTE ÉCONOMIQUE

Augmenter SA du bâti selon une projection de l'ICC FFB
Augmenter SA du contenu selon une projection de l'inflation

	Central	Évolution
AAL 2024	2 044 078 €	2 044 078 €
AAL 2050	4 502 178 €	6 795 495 €
% augmentation (Δ)	120 % (=)	232 % (+112 pt)

- Augmentation de **51 %** de l'AAL 2050 par rapport au scénario central

Scénario central

120 % d'augmentation de la sinistralité

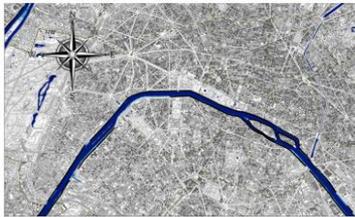
RÉPLICABILITÉ DE LA MÉTHODOLOGIE

5 • Sensibilités, perspectives et conclusion



La modélisation développée se veut entièrement répliquable, modulo la **disponibilité** des données

Zones inondées

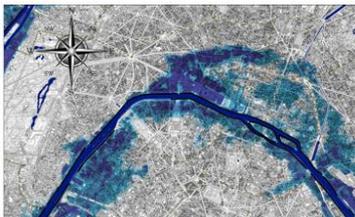


Scénario TRI fréquent – HE = 6.1m

Zones inondées



Scénario TRI moyen – HE = 8.7m



Scénario TRI extrême – HE = 10.9m



Analyse du risque d'inondation lié au débordement de la Seine à Paris (*station Pont d'Austerlitz*)

PDR	HE 2024	HE 2050	Variation	Pertes 2024	Pertes 2050
2	3.51	3.90	+11.1 %	-	-
5	4.56	5.09	+11.6 %	-	-
10	5.26	5.90	+12.2 %	-	1 804 691
20	5.93	6.64	+12.0 %	2 025 994	6 898 785
50	6.79	7.65	+12.7 %	7 960 444	297 480 039
100	7.44	8.50	+14.2 %	214 396 341	993 245 381
200	8.09	9.30	+14.9 %	576 779 949	1 698 804 454
				5 288 372	24 901 485



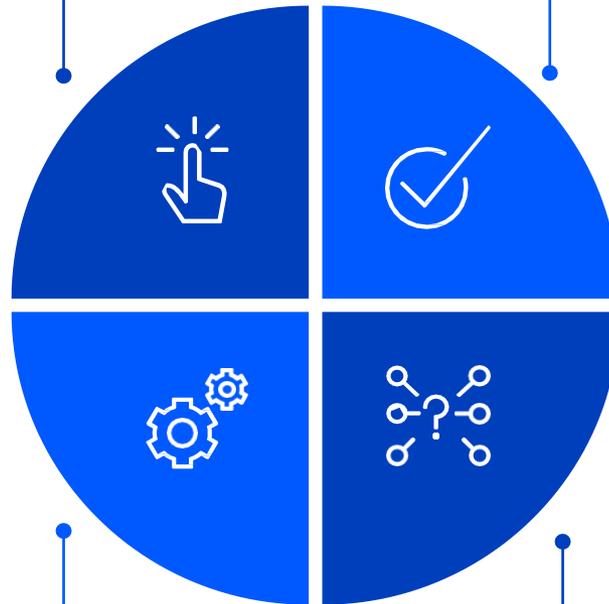
+ 371 %

UN MODÈLE PERFECTIBLE

5 • Sensibilités, perspectives et conclusion

Automatisation des
différents procédés

Envisager différents horizons
prospectifs



Facteurs supplémentaires,
précision des données

Application sur un portefeuille
réel d'assurance

CONCLUSION

5 • Sensibilités, perspectives et conclusion



Merci pour votre attention

Impact prospectif du changement climatique
sur les inondations par débordement

Aurélien AUGER

Accenture