

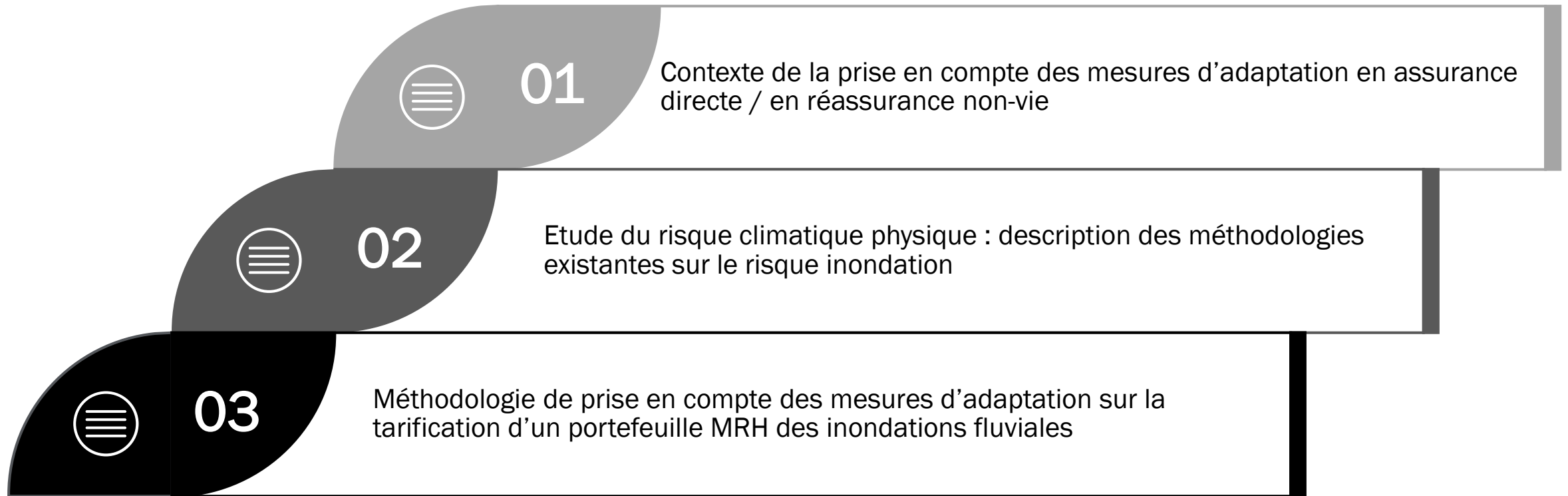
PRISE EN COMPTE DES MESURES D'ADAPTATION EN TARIFICATION NON-VIE FACE AU RISQUE D'INONDATION ET SON ÉVOLUTION SUR DIFFÉRENTS HORIZONS DE TEMPS

Présentateurs ateliers

Léa Denner-Jerez, Manuela Torres Gomez, Thibault Monnet, Joseph Delawari

Autres contributeurs

Alexandra Douthaud, Alexandre Pambianchi, François-Xavier Chamoulaud



Présentation du contexte global



Quoi ?

Il existe une **gamme de mesures d'adaptation** pour réduire les risques d'inondation futurs :

- **structures naturelles** (bancs d'huîtres, terres humides et marais salés)
- **structures artificielles** (digues, barrages, écluses)



Pourquoi ?

- Le **réchauffement climatique** entraîne une **hausse de la fréquence et de la sévérité** des épisodes d'inondations.
- Quantifier l'impact des digues, véritable enjeu pour **l'aménagement du territoire.**
- Impact d'un **dépassement de digue** : un coût assurantiel élevé
- Cela permet de **limiter les conséquences** des inondations en termes de dommages.



Comment ?

- **Extraction des données** de modélisation (hydrauliques, topographiques)
- **Identification de la mesure d'adaptation** (ZICH)
- **Sélection d'hypothèses clés** (rupture de digue équivalent à étude avant la digue)
- **Tarification d'un portefeuille MRH**



01

Contexte de la prise en compte des mesures d'adaptation en assurance directe / en réassurance non-vie



02

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation



03

Méthodologie de prise en compte des mesures d'adaptation sur la tarification d'un portefeuille MRH des inondations fluviales

Contexte de la prise en compte des mesures d'adaptation en assurance directe / en réassurance non-vie

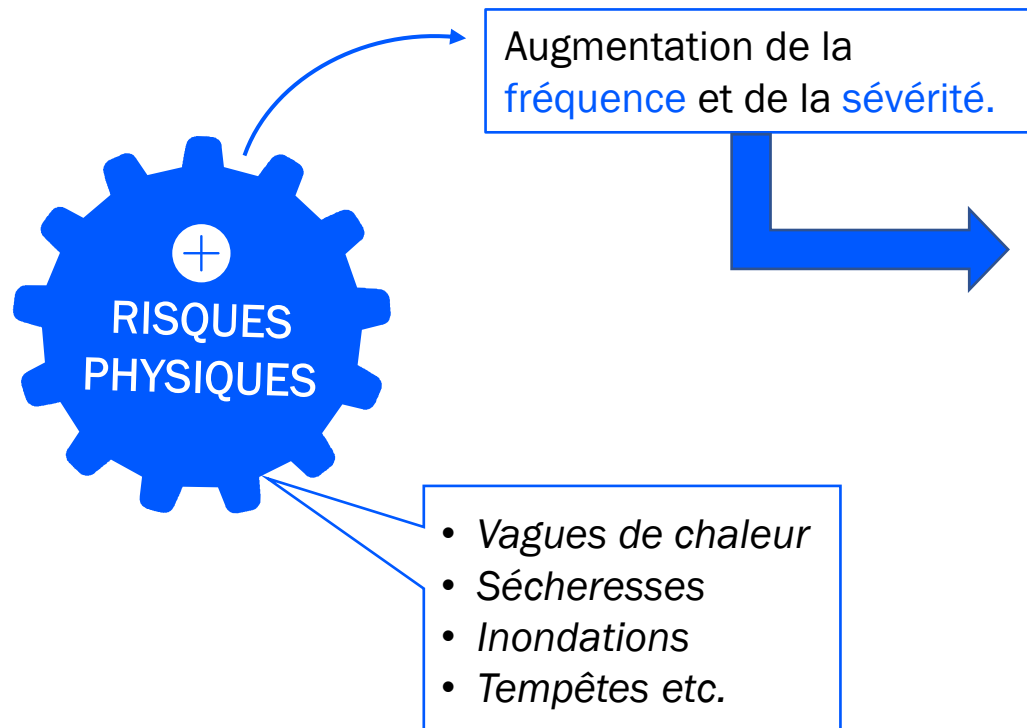
Présentation des risques climatiques

01 - Contexte

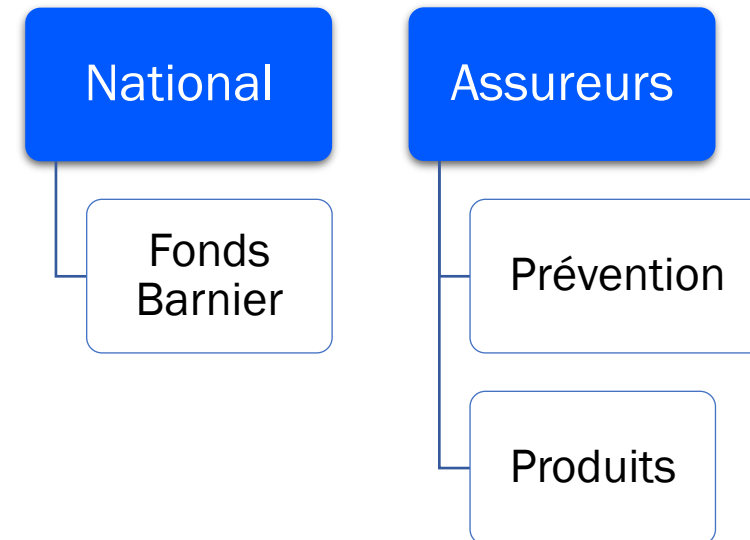
02 - Etude

03 - Tarification

Le **changement climatique** contribue à l'apparition et l'aggravation de multiples risques. Il amplifie notamment les risques physiques :



Diverses solutions existent à plusieurs niveaux :



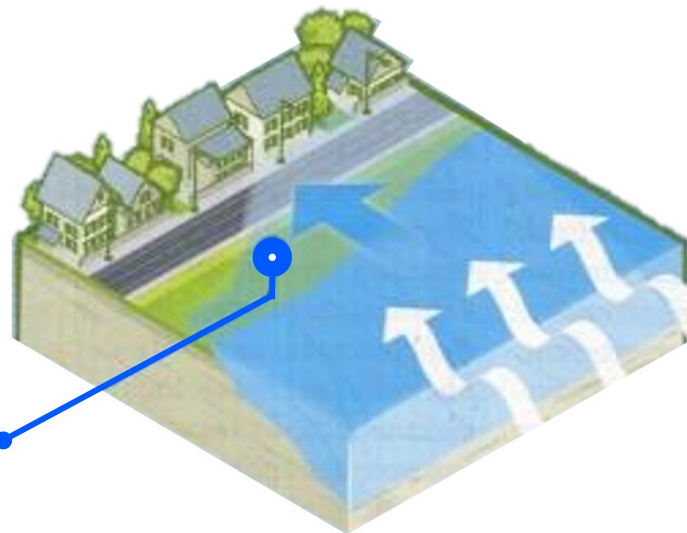
Contexte de la prise en compte des mesures d'adaptation en assurance directe / en réassurance non-vie

Présentation des types d'inondation

01 - Contexte

02 - Etude

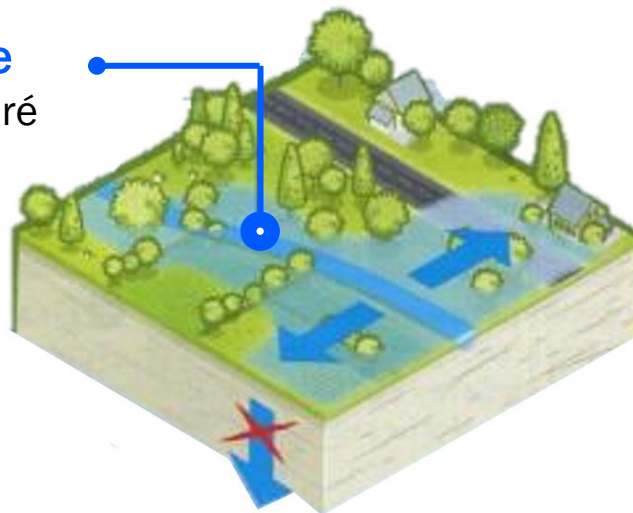
03 - Tarification



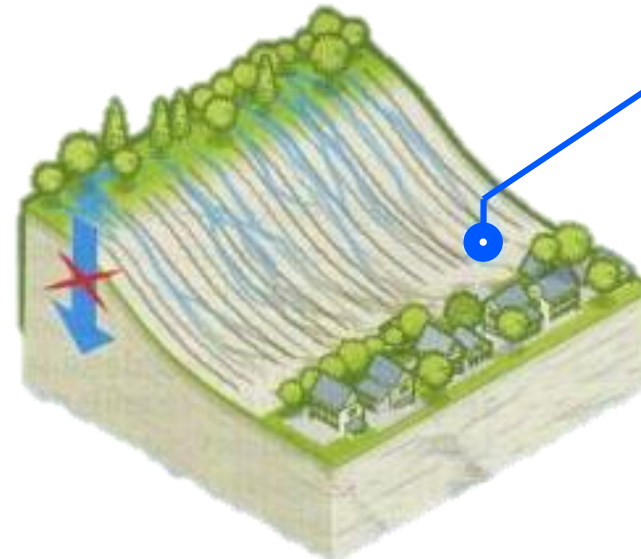
Submersion marine
Marée et vent en zone côtière



Remontée de nappes
Pluie et saturation de nappes phréatiques



Débordement de rivière
Pluie en amont et sol saturé en eau



Ruissellement et érosion
Pluie et sol imperméable, tassé et/ou saturé en eau

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Exemple d'inondation dans les Bouches-du-Rhône

01 - Contexte

02 - Etude

03 - Tarification



Image : Crue sur l'avenue de Stalingrad à Arles en décembre 2003. Source : Jean Roché



La crue de décembre 2003 à Arles et Beaucaire

- Une crue exceptionnelle étalée sur 3 jours
- La plus grande crue mesurée au Beaucaire
- Submersion des quartiers au nord d'Arles et de la campagne arlésienne
- Cet épisode a mis en avant la **faiblesse du système de protection**

Contexte de la prise en compte des mesures d'adaptation en assurance directe / en réassurance non-vie

Présentation des mesures d'adaptation

Mesure d'adaptation

Contexte de la prise en compte des mesures d'adaptation en assurance directe / en réassurance non-vie

Présentation du risque de rupture de digue

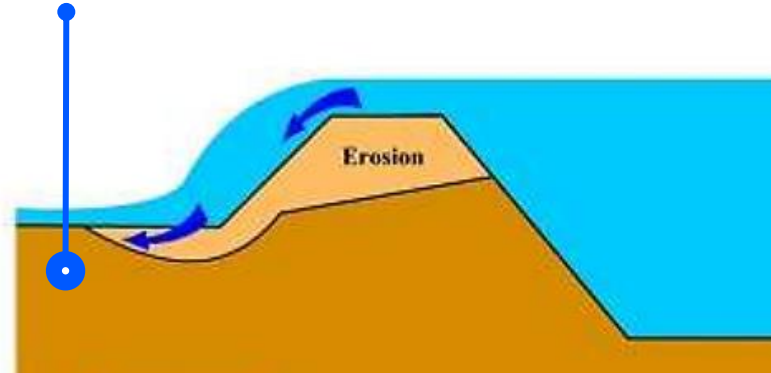
01 - Contexte

02 - Etude

03 - Tarification

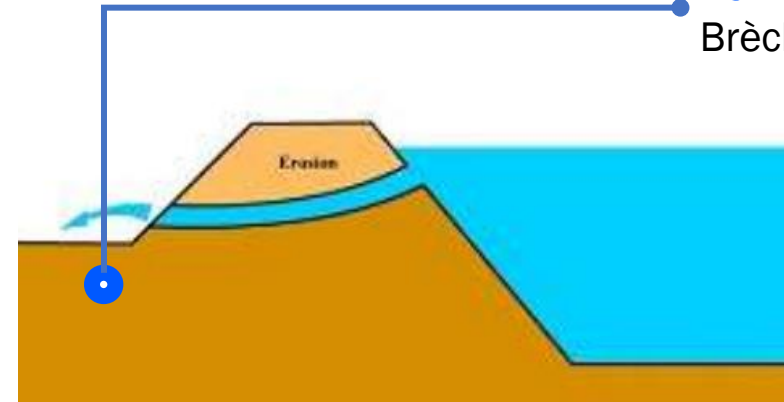
La surverse

Ecoulement par-dessus l'ouvrage



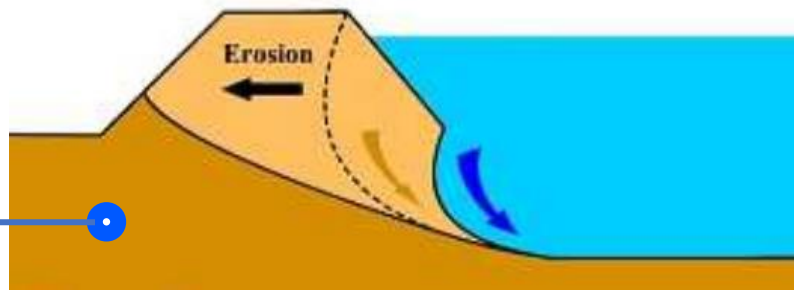
Le renard

Brèche dans la digue



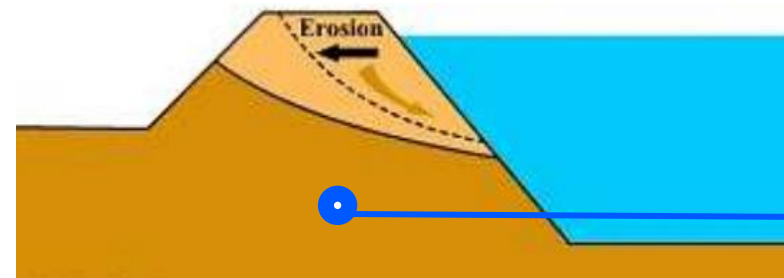
L'affouillement

Effondrement de la digue engendré par la vitesse de l'eau



Stabilité propre

Rupture par glissement de corps de la digue





01

Contexte de la prise en compte des mesures d'adaptation en assurance directe / en réassurance non-vie



02

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation



03

Méthodologie de prise en compte des mesures d'adaptation sur la tarification d'un portefeuille MRH des inondations fluviales

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Présentation du périmètre de l'étude (digue Arles-Tarascon)

01 – Contexte

02 – Etude

03 – Tarification



Image : La digue d'Arles-Tarascon (source Symadrem)



Caractéristiques clés de la digue d'Arles-Tarascon

- Longueur de 10 km
- Protège 55 000 personnes



Pourquoi la digue a-t-elle été créée (en 2021) ?

Pour se protéger face à une crue équivalente à celle de 2003 :

- Plus de 8 000 personnes inondées
- Plus de 350 M€ de dommages dans la plaine du Trébon et les quartiers nord d'Arles

Pour permettre le développement économique des villes

- Terrains disponibles, d'où perspective d'emplois

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Sondage sur la connaissance des bases de données Open-Source

01 - Contexte

02 - Etude

03 - Tarification

Nous vous invitons à participer à notre sondage :

Quelles sont les principales bases de données libres d'accès que vous connaissez ?

Les résultats seront présentés dans quelques minutes.



www.menti.com

Code : 3496 3878

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Synthèse de l'utilisation de bases de données publiques dans la modélisation

01 - Contexte

02 - Etude

03 - Tarification

Données Hydrométriques

HydrPortail

Débits et hauteur d'eau par station hydraulique en France depuis 1970

Historique

Copernicus
Europe's eyes on Earth

Indicateurs hydrauliques en Europe à horizon 2100 selon les scénarios RCP

Projections

Données Topographiques

IGN

Représentation des infrastructures et des zones concernées

Historique

Modélisation de l'aléa

Données avant digue

GÉORISQUES

Territoires à Risque important d'Inondation (TRI)

Historique

Données après la digue

VIGICRUES

Zones Inondées par Classes de Hauteurs d'eau (ZICH)

Cartographies des zones d'inondations potentielles selon les scénarios suivants :

8800, 9900 et 11900 m³/s

Projections

Prise en compte de mesures d'adaptation

Cartographie des risques par scénario de débit

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Description des approches de l'aléa et analyse de maturité

01 – Contexte

02 – Etude

03 – Tarification

Approche simplifiée

- Indicateurs climatiques fixes
- Approche strictement basée sur des facteurs **proportionnels simples**.
- En ce qui concerne la sinistralité à 2050, l'aléa est donc pris en compte de la façon suivante :

(1 + facteur aléa)

Approche intermédiaire

- Données académiques **open source** (ex : Hydroportail, données hydrométriques Copernicus GCM/RCM)
- Prise en compte de l'urbanisation par un facteur proportionnel lié aux données INSEE

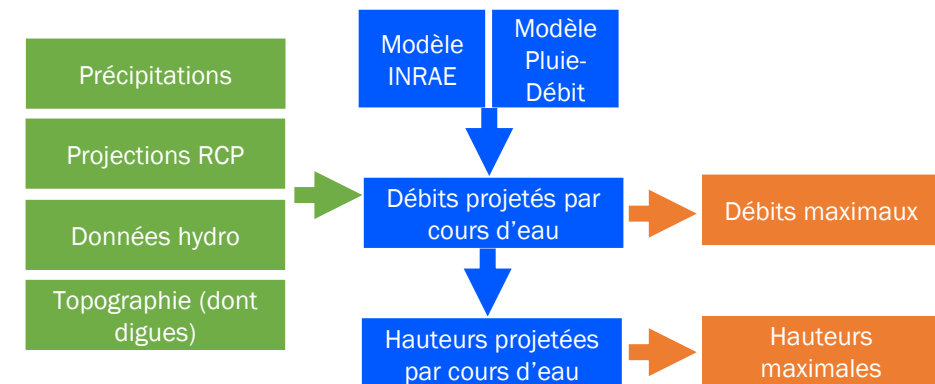
HydrPortail

Copernicus
Europe's eyes on Earth



Approche complexe

- Prise en compte du **modèle externe INRAE** (crues lentes) et du **modèle interne CCR** (crues éclair)



Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Présentation de méthodologie d'estimation de la hauteur maximum liée au débit

01 - Contexte

02 - Etude

03 - Tarification

2a - Hauteur

2b - Débit

2c - Exposition



Image : Une échelle limnimétrique pour mesurer la hauteur d'eau (source : Artois-Picardie Eau France)



Quelles sont les méthodes d'estimation de la hauteur maximum liée au débit ?

Quelques méthodes usuelles pour modéliser les débits extrêmes :

- La **loi de Gumbel** : représentation de la loi des débits maximaux historiques constatés sur une période donnée
- La **formule de Manning-Strickler** : formule empirique d'estimation des débits via plusieurs informations disponibles

$$V = K_s R_h^{2/3} i^{1/2}$$

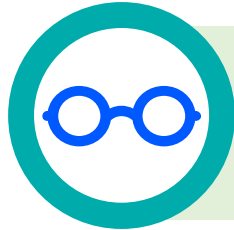
- K_s : le coefficient de Strickler ($m^{1/3}/s$)
- R_h : le rayon hydraulique (m)
- i : la pente hydraulique (m/m)

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Présentation des données retenues pour le risque inondation

01 - Contexte 02 - Etude 03 - Tarification

2a - Hauteur 2b - Débit 2c - Exposition



Nous avons utilisé les données de **débits fluviaux** sur la station du Tarascon (13) issus du **portail Hydro**. Ci-dessous, nous considérons les **débits maximaux par mois** estimés entre 2010 et 2022.

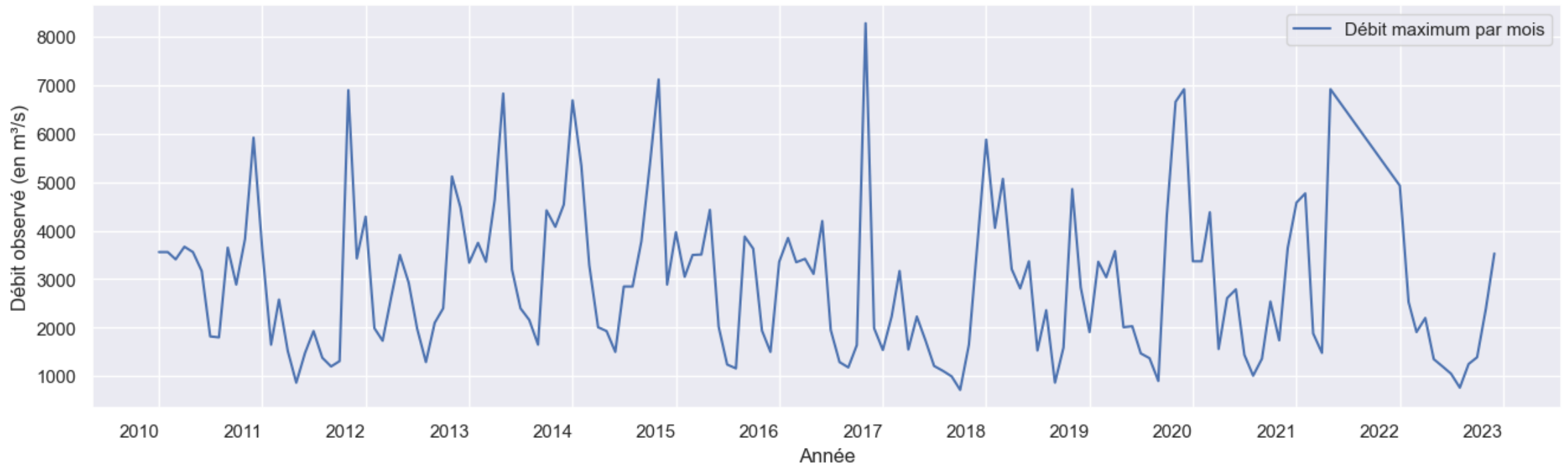


Figure : Débits maximaux par mois dans la station du Tarascon (source portail Hydro)

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Présentation des données retenues pour le risque inondation

01 - Contexte 02 - Etude 03 - Tarification

2a - Hauteur 2b - Débit 2c - Exposition



La **période hivernale** et ses pluies abondantes engendrent un débit plus important qu'en été. Les travaux de H.J. Gumbel montrent que nous pouvons utiliser les débits maximums annuels pour **modéliser les débits** et donc attribuer à un débit une probabilité d'occurrence.

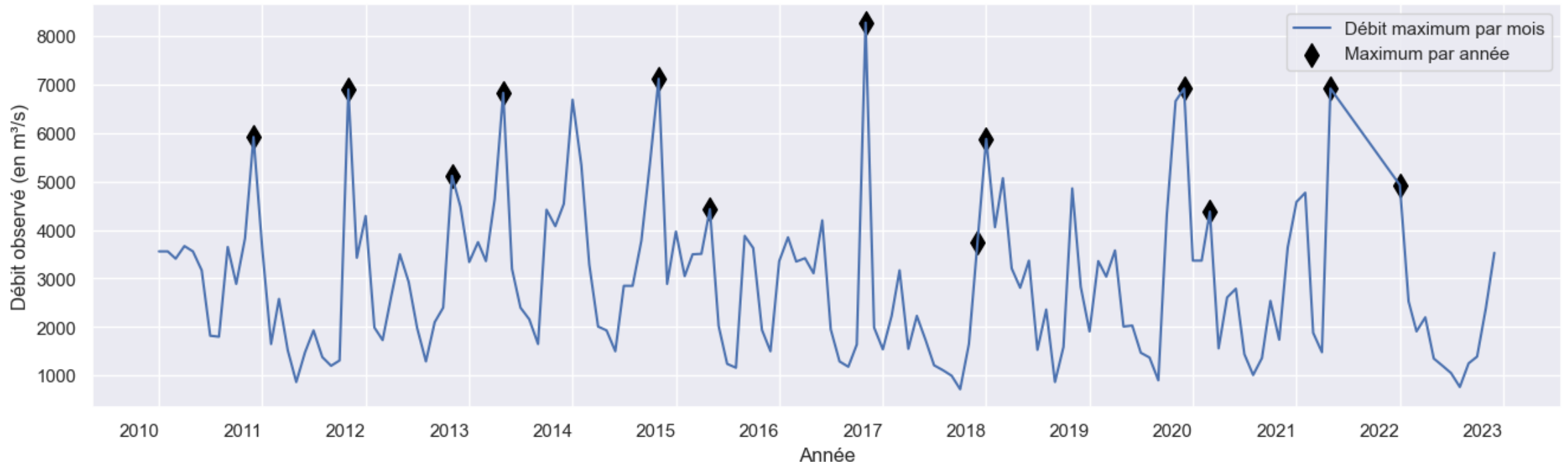
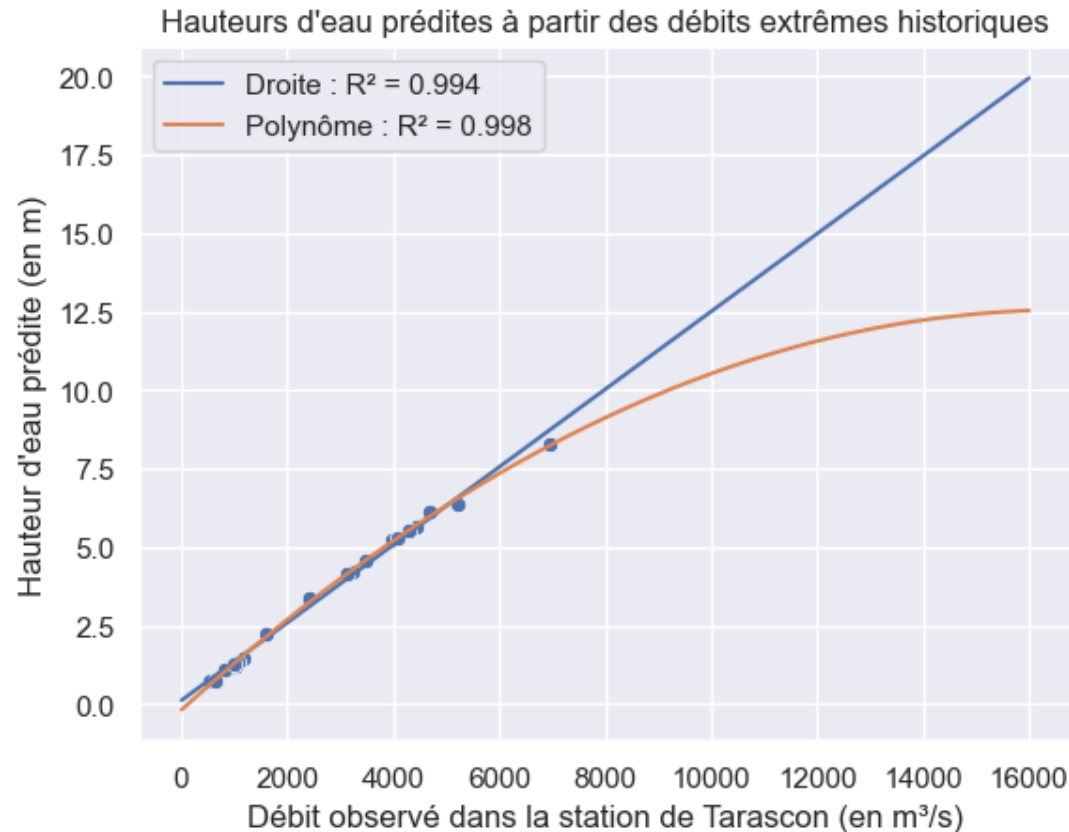


Figure : Débits maximaux par mois dans la station du Tarascon (source portail Hydro)

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Présentation de méthodologie d'estimation de la hauteur maximum liée au débit

01 - Contexte	02 - Etude	03 - Tarification
2a - Hauteur	2b - Débit	2c - Exposition



Les débits sont estimés à partir des hauteurs d'eau relevées via des **courbes de tarage** propres à chaque station hydrométrique.



La relation la plus précise est **polynomiale d'ordre 2** en tenant compte des valeurs extrêmes constatées au Tarascon entre 2009 et 2022.



Une loi polynomiale d'ordre 2 revient à une modélisation par une **courbe parabolique**, donc **croissante puis décroissante** (peu cohérent)

Figure : Correspondance débits maximaux par mois et hauteurs dans la station du Tarascon (source portail Hydro)

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Comparaison des méthodologies d'estimation de la hauteur maximum liée au débit

01 - Contexte 02 - Etude 03 - Tarification

2a - Hauteur 2b - Débit 2c - Exposition

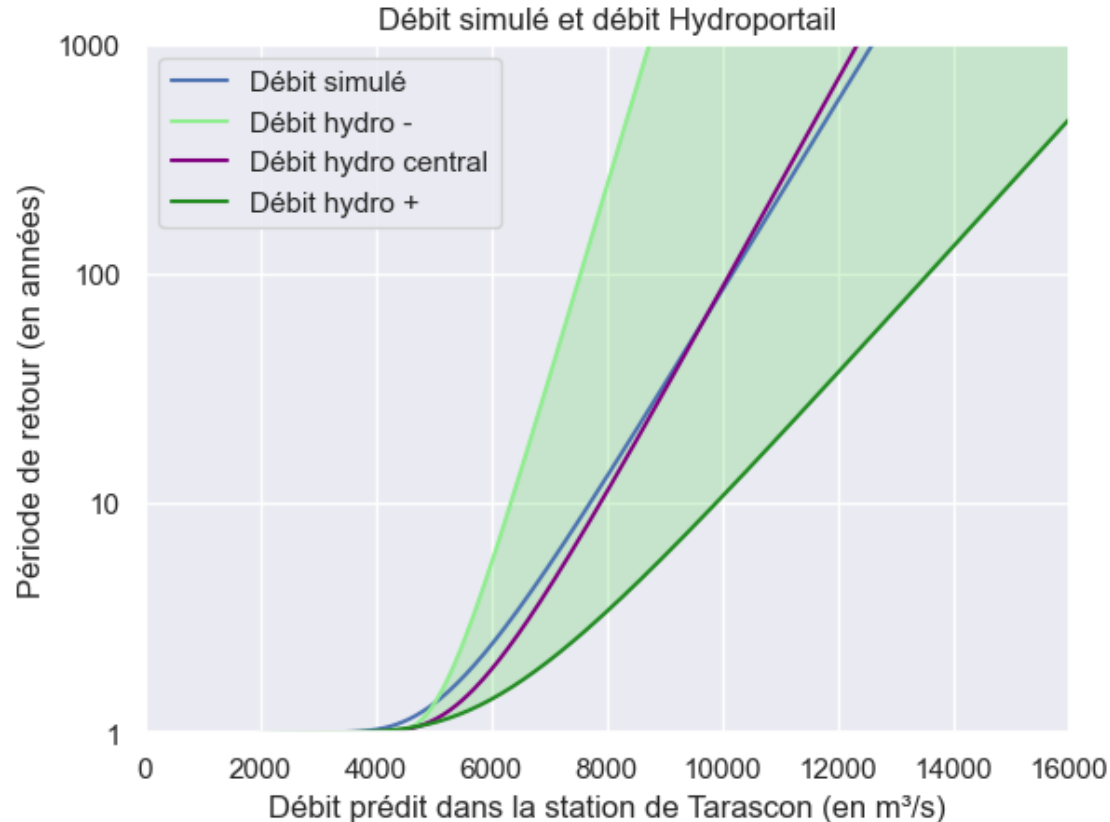


Figure : Correspondance débits maximaux par mois et période de retour dans la station du Tarascon (source portail Hydro)

À partir des données de la banque hydro, à Tarascon, nous pouvons ajuster les paramètres d'une loi de Gumbel.

Les scientifiques du SCHAPI mettent également des paramètres ajustés, ainsi qu'un intervalle de confiance.



On notera que les deux courbes sont assez proches

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

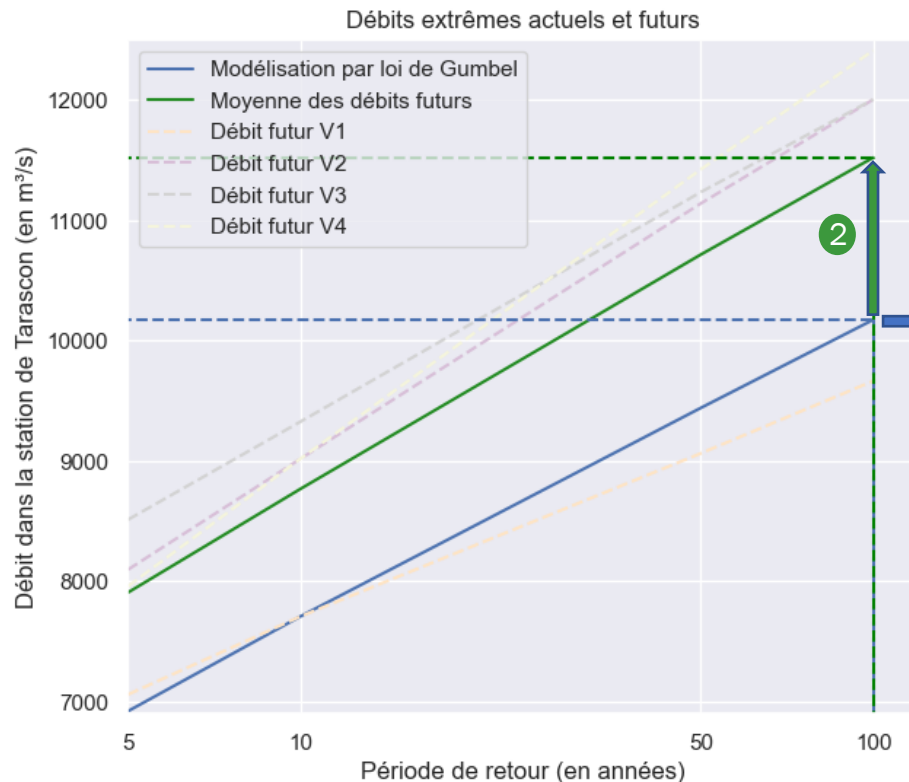
Comparaison des méthodologies d'estimation de la hauteur maximum liée au débit

01 - Contexte 02 - Etude 03 - Tarification

2a - Hauteur 2b - Débit 2c - Exposition



La modélisation par une loi de Gumbel conduit à une plus faible estimation des débits extrêmes



Lecture :

① Pour une période de retour de 100 ans, la modélisation des débits extrêmes par la loi de Gumbel en vision historique est de 10 174 m³/s.

② L'analyse nous permet de passer à une base de moyenne de débits futurs à 11 523 m³/s.

Figure : Correspondance débits maximaux par mois et période de retour dans la station du Tarascon selon les modélisations (source Copernicus)

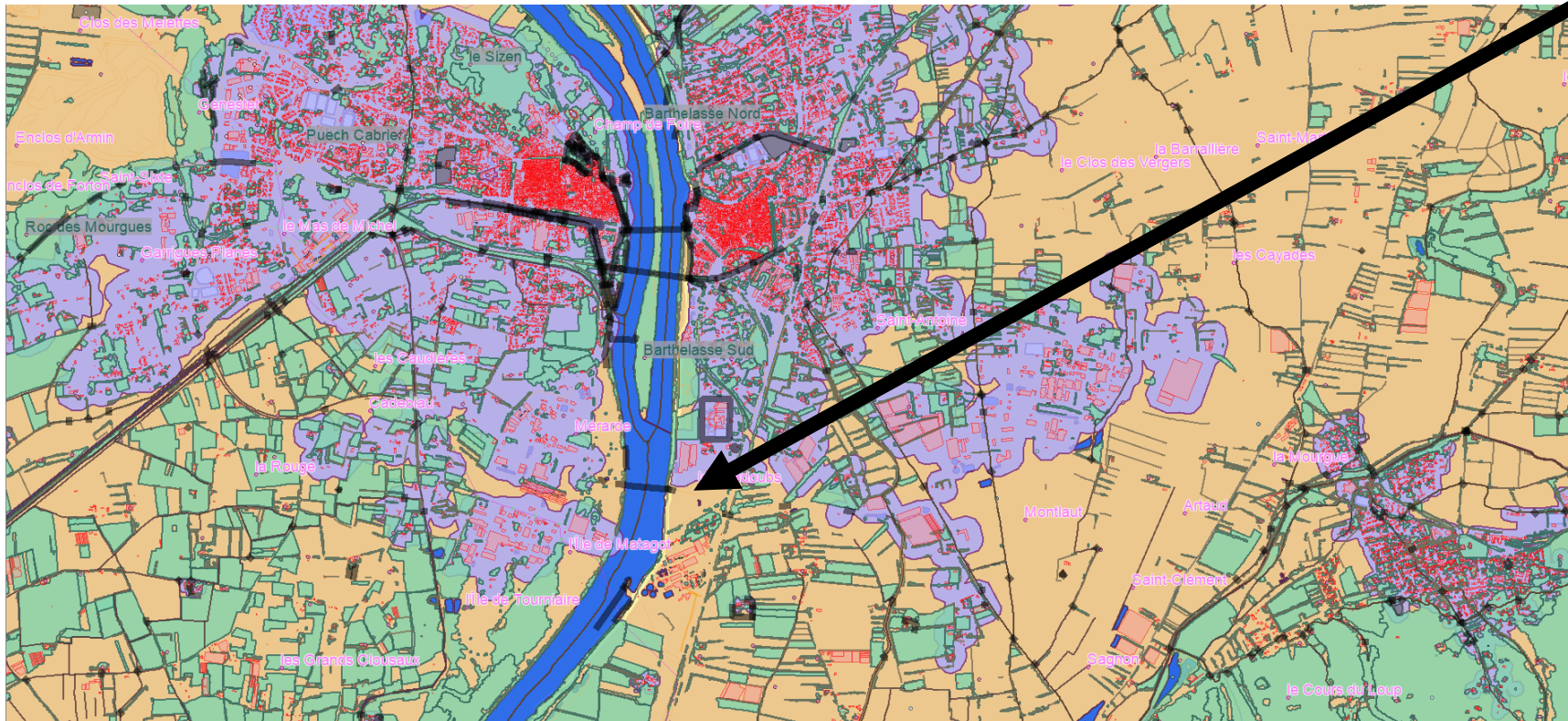
Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Croisement avec les données d'exposition

01 - Contexte 02 - Etude 03 - Tarification

2a - Hauteur 2b - Débit 2c - Exposition

Pont Tarascon-Beaucaire



Légende :

-  Bâti
-  Zones hydrauliques
-  Occupation des sols
-  Constructions humaines (digue et pont)
-  Végétation

Figure : Cartographie de la zone fluviale d'Arles-Tarascon (source : base de données IGN TOPO)

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Présentation des impacts de scénarios de débits

01 - Contexte	02 - Etude	03 - Tarification
2a - Hauteur	2b - Débit	2c - Exposition

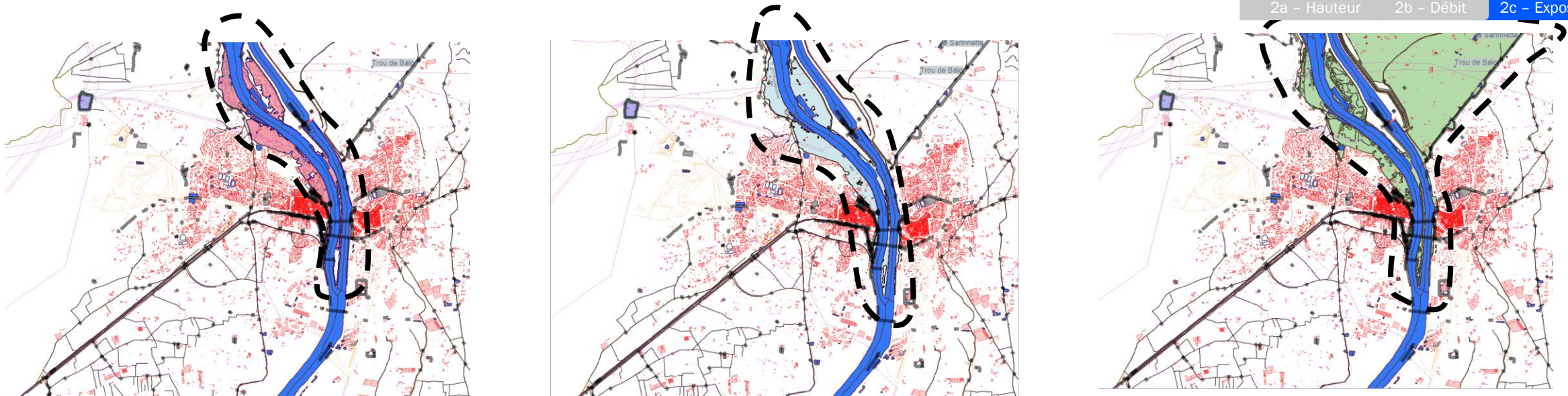
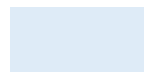


Figure : Cartographies de la zone fluviale d'Arles-Tarascon par scénario de débit : 8800, 9900 et 11900 m³/s (source : bases IGN TOPO et vigicrues)



Débit : 8800 m³/s



Débit : 9900 m³/s



Débit : 11900 m³/s



- 8800 m³/s : impact très limité au niveau du pont de Tarascon
- 9900 m³/s : impact limité grâce à la digue construite
- 11900 m³/s : impact fort que la digue parvient à limiter partiellement

Etude du risque climatique physique : description des méthodologies existantes sur le risque inondation

Résultats de l'analyse de l'aléa

01 – Contexte

02 – Etude

03 – Tarification

Résultats en nombre d'habitations impactées		
Période de retour (RP)	Avant la digue	Après la digue
20	368	48
100	8288	54
500	NA	377
1000	8988	?

Exemple :

- **Interprétations avant digue :**

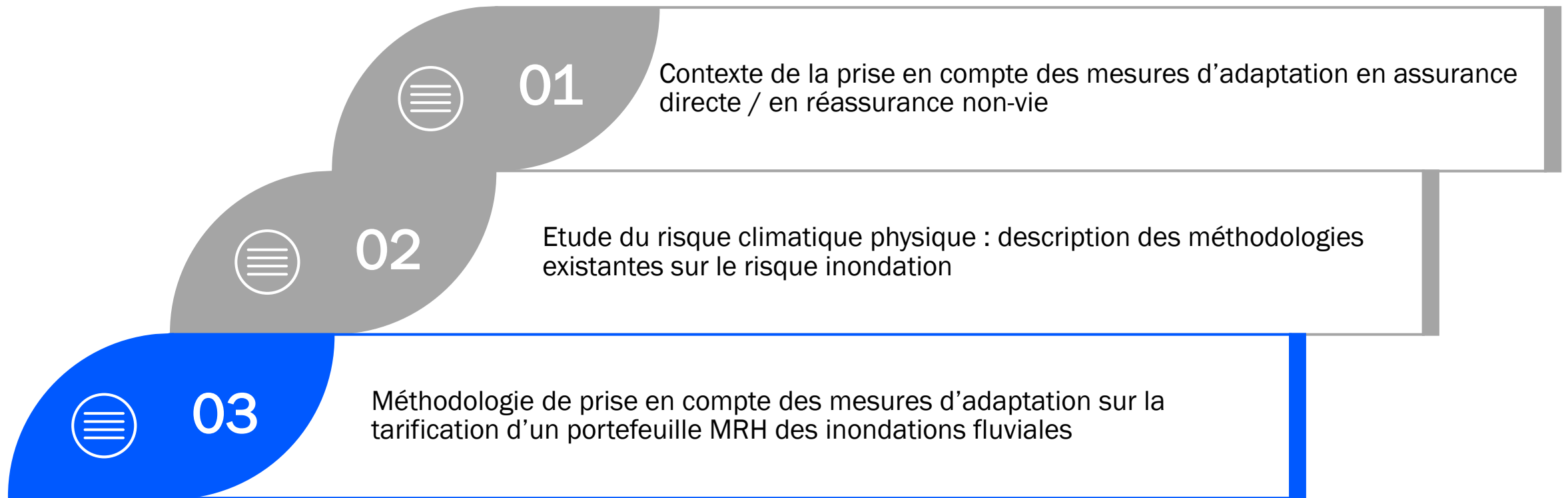
368 habitations sont touchées avec une probabilité de 5% par an. Soit une période de retour de 20 ans.

- **Interprétations après digue :**

48 habitations sont touchées avec une probabilité de 5% par an avec la prise en compte de la mesure d'adaptation (digue).



- Comme attendu, la digue a un effet d'atténuation sur les périodes de retour des inondations sur les données climatiques actuelles et prospectives
- La prise en compte de l'urbanisation sur les données d'exposition aurait comme conséquence une croissance non-linéaire de la sinistralité avant et après la digue



Méthodologie de prise en compte des mesures d'adaptation sur la tarification d'un portefeuille MRH des inondations fluviales

Hypothèses de tarification (actuelles et prospectives)

Données non-redressées
Brut d'inflation

Ajustement #1 → Hausse globale de sinistralité en sévérité et fréquence

Sévérité
Indice d'inflation
(CPI / FFB)



Fréquence x Sévérité
Changement de portefeuille / Evolution
du nombre de polices

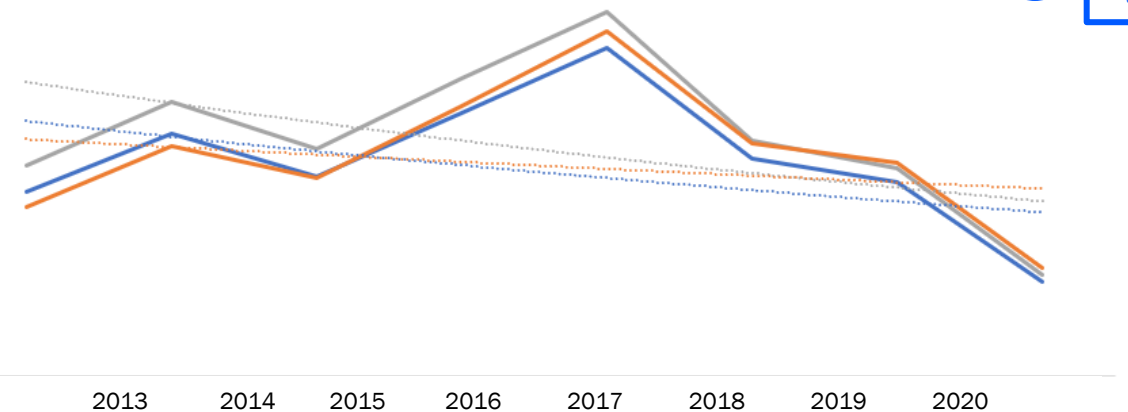
Ajustement #2 → Impact de la digue = réduction fréquence et hausse sévérité

Changement de profil de risque
Cartographie + Impact de la digue



Traitement des données indispensable afin d'optimiser les inputs de tarification et l'ajustement de la loi (correction de la tendance)

Historique des sinistres inondation avec changement de profil de risque via de-trending et indexation



$y = 5E+07e^{-0.063x}$
 $y = 6E+07e^{-0.074x}$
 $y = 5E+07e^{-0.033x}$

Correction de la tendance des sinistres

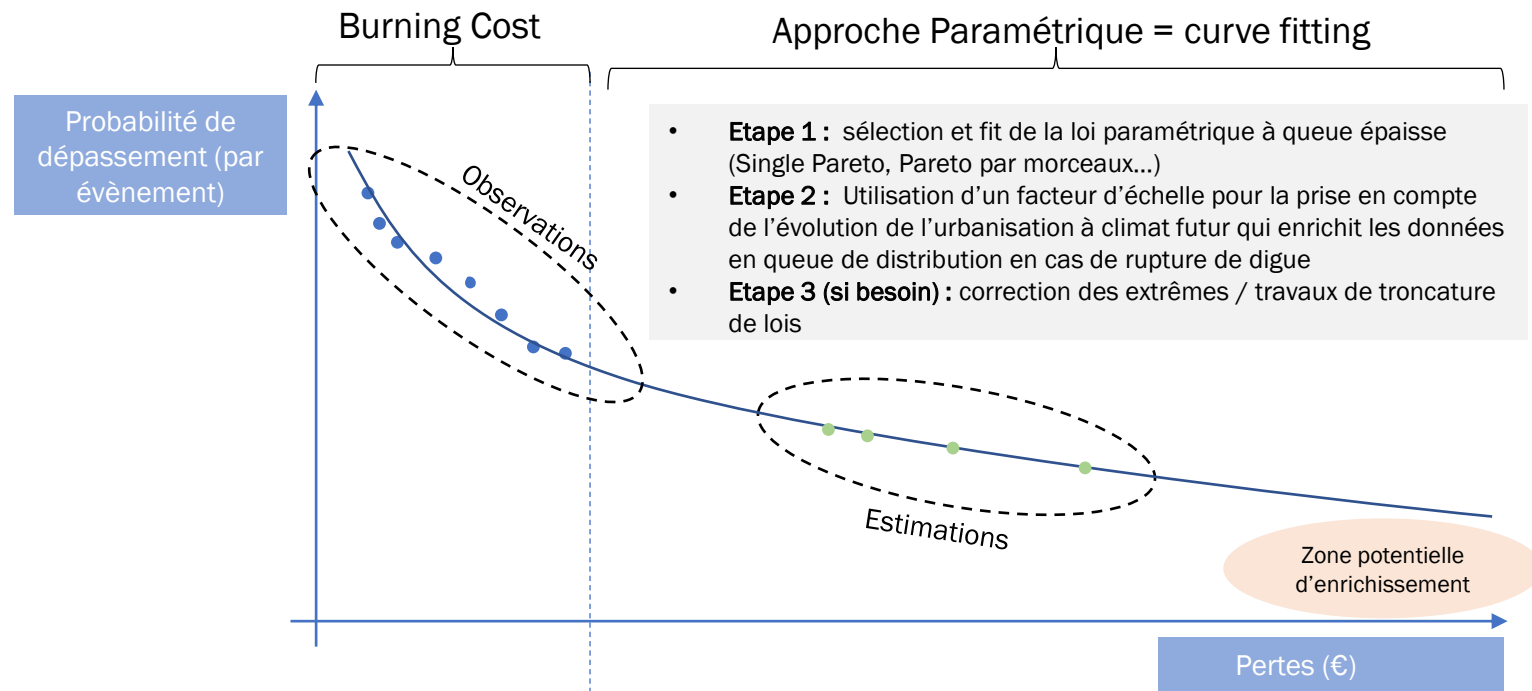
- Données sinistres
- Données sinistres post-indexation (DPI)
- Données sinistres ajustement des expositions
- Données sinistres base détrendées
- DPI détrendées
- Données sinistres ajustement des expositions détrendées

Méthodologie de prise en compte des mesures d'adaptation sur la tarification d'un portefeuille MRH des inondations fluviales

- Données théoriques

Impacts sur la tarification pour des expositions MRH – Prise en compte de digue

Période de retour (RP)	Avant la digue	Après la digue
20	368	48
100	8288	54
500	NA	377
1000	8988	?

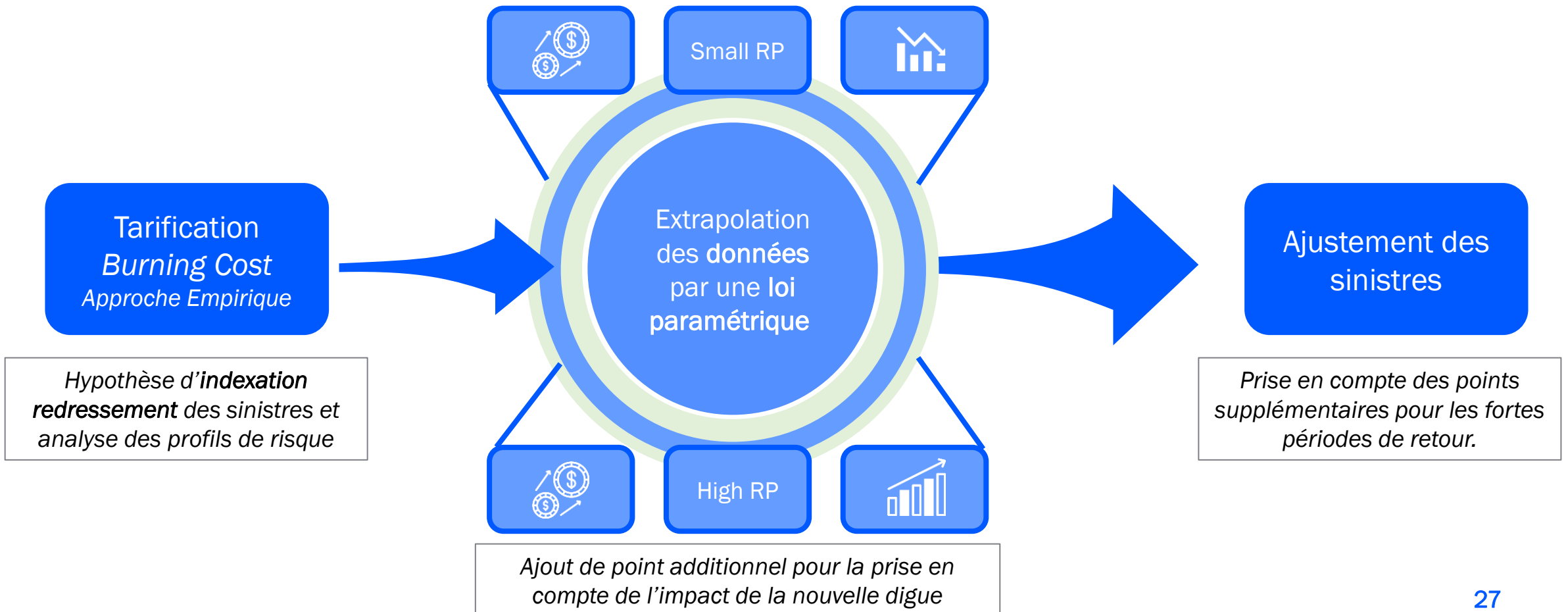


Le *curve fitting* est le procédé d'obtention de la courbe se rapprochant au mieux d'un ensemble de points connus, selon une métrique donnée.

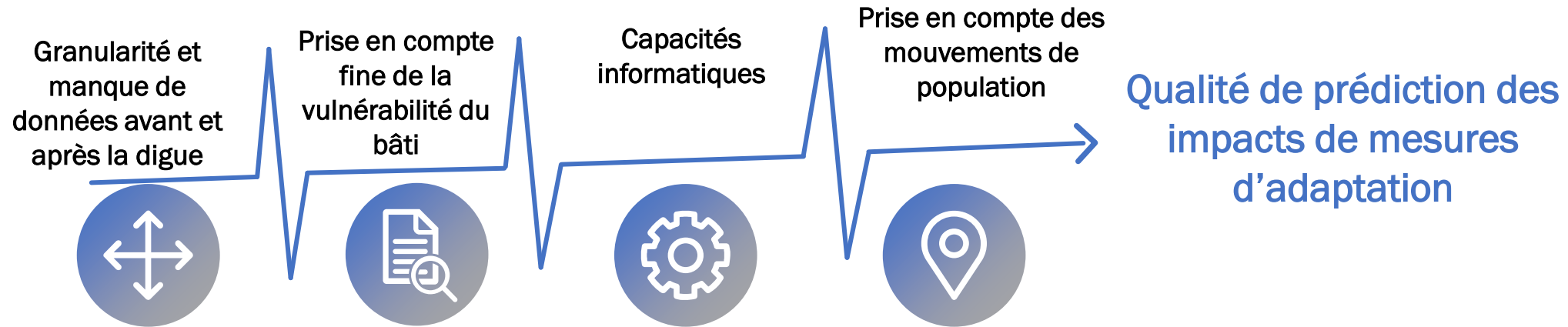
Méthodologie de prise en compte des mesures d'adaptation sur la tarification d'un portefeuille MRH des inondations fluviales

Méthode de tarification – Approche empirique et Curve fitting

01 – Contexte 02 – Etude 03 – Tarification

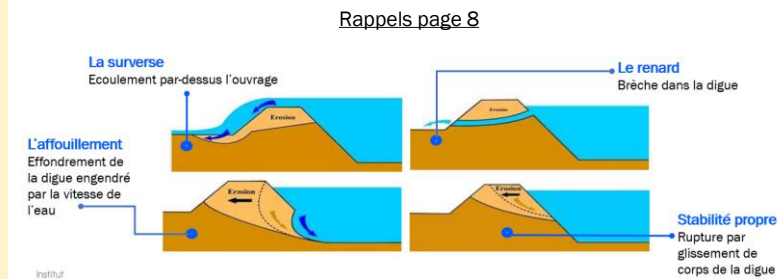


Limitations



Les périodes de retour estimées avec digue **ne tiennent pas compte** de l'éventualité d'une **rupture de digue**.

Celle-ci créerait la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval. Concrètement, une rupture de digue peut occasionner des **dommages supplémentaires sur les biens et les personnes**.



Pour aller plus loin

- La méthodologie présentée peut être facilement répliquée pour d'autres types de risques (comme la grêle) et d'autres localisation en fonction de la disponibilité des données
- Cette approche par proxys est plus compliquée à mettre en œuvre sur le risque de sécheresse par exemple (impact du régime Cat Nat)
- La lecture de l'analyse de l'impact du changement climatique peut être différente entre un assureur direct et un réassureur (période de retour d'une perte moyenne de type *Probable Maximum Loss* vs perte maximale)
- Ce type d'étude souligne l'importance du rôle de l'actuaire face aux enjeux du changement climatique dans tous les domaines dont la tarification et l'analyse de risques








Foire aux questions

ANNEXES

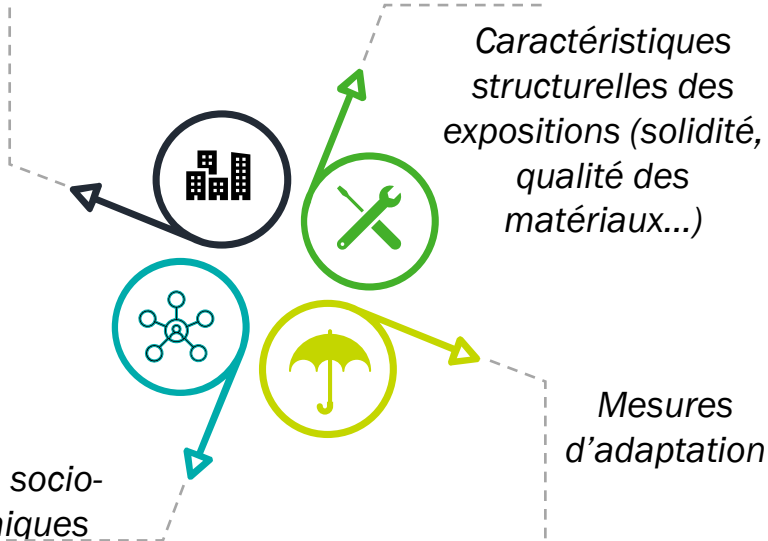
Synthèse de l'utilisation de bases de données publiques dans le travail Aléa

Voici un tableau de synthèse avec correspondance entre les sources et les données :

	Nom de la base de données	Description	Utilité	Source
	Hydroportail (ex Banque Hydro)	Données hydrométriques par station en France depuis 1970	Obtenir les débits et de hauteurs d'eau relevés pour chaque station hydrométrique à une maille temporelle définie	EauFrance / SCHAPI https://hydro.eaufrance.fr/
	Base TOPO	' Représentation vectorielle des éléments du territoire français (ex : bâtiments)	Représenter les infrastructures humaines et distinguer les zones concernées par le risque inondation	IGN https://geoservices.ign.fr/bdortho
	Base SWICCA	Indicateurs hydrauliques à l'échelle européenne par scénario RCP lié au dérèglement climatique	Obtenir des données relatives à des indicateurs hydrauliques à horizon 2100 selon les projections RCP	Institut Copernicus https://climate.copernicus.eu/water-indicators-climate-change-adaptation
	Vigicrues	Cartographie des zones d'inondations potentielles et des hauteurs d'eau par scénario de débit	Connaître les structures pouvant être touchées selon l'ampleur de la crue, et la gravité éventuelle des dégâts	Vigicrues https://www.vigicrues.gouv.fr/
	Territoires à Risque important d'Inondation (TRI)	Représentation vectorielle des zones inondables par sévérité d'inondation (fréquent, moyen, extrême) et scénario climatique	Déterminer les zones inondées selon 3 niveaux de sévérité d'inondation et par scénario climatique, avant adaptation	Géorisques https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/zonages-inondation-rapportage-2020

Présentation de la prise en compte de la vulnérabilité

Nature des expositions (bâtiment, route,...)



Présentation des principales approches

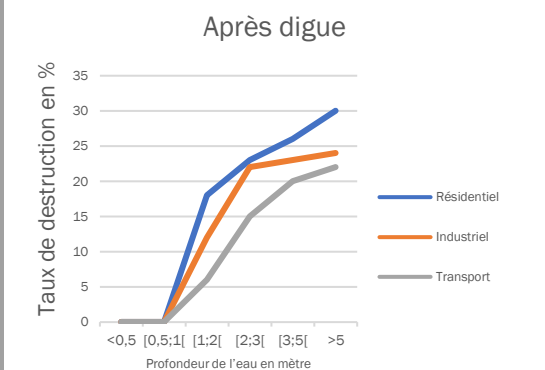
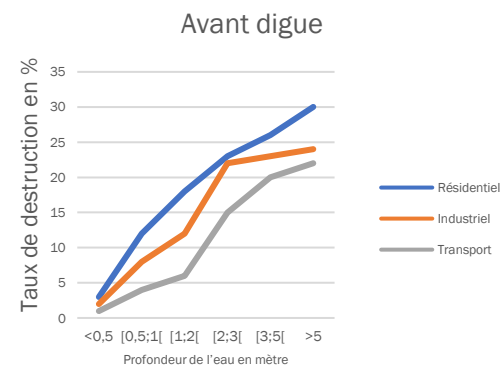
- **Quantitatives/Historiques** : les dommages historiques sont analysés pour comprendre les tendances et les schémas de vulnérabilité
- **Qualitatives/Avis d'expert** : Elles impliquent des évaluations expertes basées sur des critères définis et des études de cas et enquêtes sur le terrain.

➡ **Estimation des taux de destructions/courbes de vulnérabilités**



Déterminer la sensibilité des éléments à risque face aux aléas, en prenant en compte divers facteurs.

EXEMPLE DE PRISE EN COMPTE DE LA DIGUE (données aléatoires)



Rappel méthodologique



À quoi servent les courbes AEP et OEP ?

- **AEP** (*Annual Exceedance Probability*) : associe une période de retour au **coût total des événements** sur une année.
- **OEP** (*Occurrence Exceedance Probability*) : associer une période de retour au **coût maximal d'un évènement** sur une année.