

# Méthodologie détaillée

## Sommaire

<b>Calcul de l'indice de vulnérabilité</b> .....	<b>3</b>
<b>Score Exposition</b> .....	<b>4</b>
Normalisation des variables .....	4
Agrégation par moyenne quadratique.....	4
Sous-score sécheresse .....	5
Sous-score inondation .....	9
Sous-score autres.....	12
Score global exposition.....	15
<b>Score Assurance</b> .....	<b>16</b>
Normalisation générale.....	16
Évolution des primes d'assurance.....	17
Part des primes dans le budget.....	17
Part d'arrêtés non reconnus.....	18
Dernière franchise d'assurance .....	18
Score global vulnérabilité assurantielle .....	20
Schéma récapitulatif .....	20
<b>Score Economique</b> .....	<b>21</b>
Normalisation des indicateurs.....	21
Budget par habitant.....	21
Dettes par habitant .....	22
Score Economique final .....	23
Schéma récapitulatif .....	23
<b>Score global de vulnérabilité</b> .....	<b>25</b>
Schéma récapitulatif .....	26
<b>Sources de données utilisées et pré-traitements réalisés</b> .....	<b>27</b>

<b>Exposition aux catastrophes naturelles</b> .....	27
<b>Prévention</b> .....	27
<b>Situation économique</b> .....	27
<b>Assurance</b> .....	28

# Calcul de l'indice de vulnérabilité

3 sous-scores distincts sont calculés puis pondérés entre eux pour former l'indice final de vulnérabilité :

- Score Exposition
- Score Assurance
- Score Économique

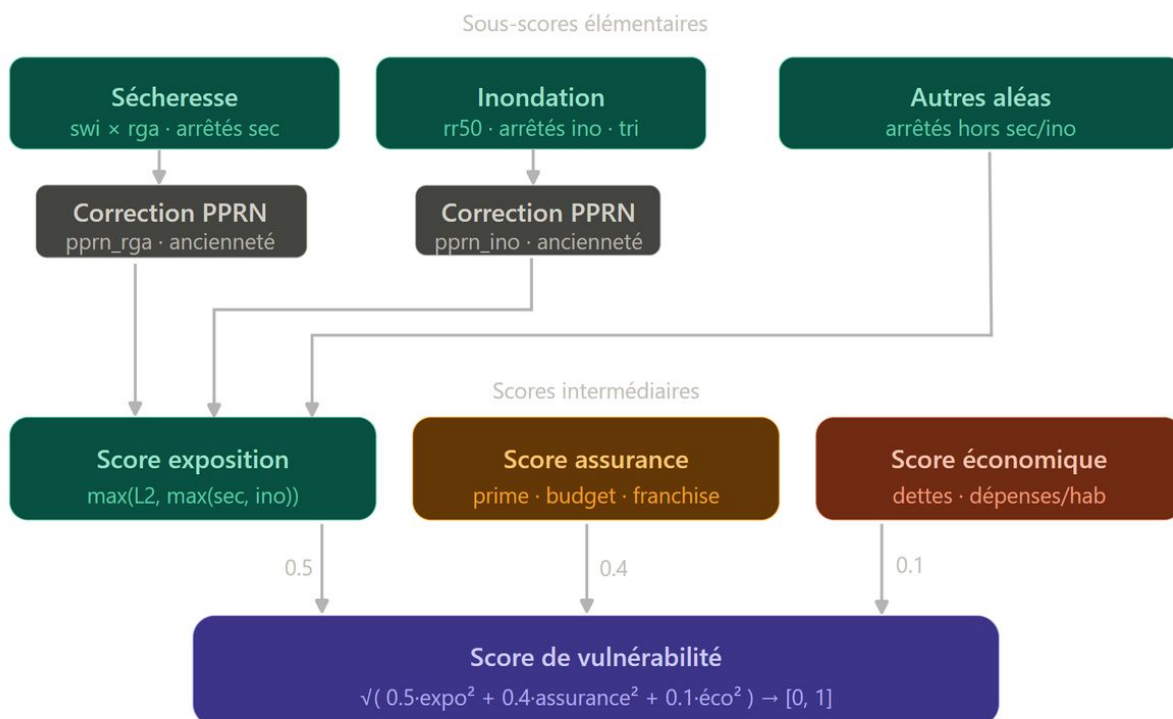


Figure 1 : l'indice est calculé sur la base de trois sous-scores prenant en compte 4 composantes : le risque de catastrophes naturelles, pondéré par le plan de prévention des risques naturels, le risque assurantiel (augmentation des primes d'assurance et part importante dans le budget), et le risque économique (budget et dettes des communes).

## Score Exposition

Ce score est divisé en trois sous-scores :

- Sous-score sécheresses
- Sous-score inondations
- Sous-score autres risques

Chaque sous-score est construit à partir de plusieurs variables, caractérisant à la fois l'aléa climatique (intensité et fréquence du phénomène physique), la sinistralité historique observée (arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle) et la vulnérabilité structurelle du territoire (exposition du bâti ou des sols). Ces variables sont normalisées puis agrégées par moyenne quadratique pondérée, produisant un score continu dans l'intervalle [0, 1]

### Normalisation des variables

Chaque variable brute est normalisée via une transformation Min-Max avec écrêtage au 99e percentile, produisant un indice normalisé compris entre 0 et 1.

$$x_{clip} = \min(x, P_{99})(x)$$

$$\text{indice}(x) = \frac{x_{clip} - \min(x_{clip})}{\max(x_{clip}) - \min(x_{clip})}$$

avec  $P_{99}$  = 99e percentile de la distribution

L'écrêtage au 99e percentile vise à réduire l'influence des valeurs extrêmes (communes atypiques) sans les supprimer. Les communes au-delà du 99e percentile reçoivent la valeur maximale normalisée de 1.

Cette procédure est appliquée à l'ensemble des variables mobilisées dans les scores sécheresse et inondation.

### Agrégation par moyenne quadratique

Les indices normalisés sont agrégés par moyenne quadratique pondérée, méthodologie du PVCC Index<sup>1</sup>. La moyenne quadratique est préférée à la moyenne arithmétique car elle pénalise davantage les déséquilibres entre composantes : une commune très exposée sur une seule dimension obtient un score plus élevé qu'avec une simple moyenne, ce qui reflète mieux la nature non-compensatoire des risques.

---

<sup>1</sup> HAL, Goujon et al., [The Physical Vulnerability to Climate Change Index computed at the sub-national level.](#)

## Sous-score sécheresse

### Périmètre

Le sous-score sécheresse est calculé exclusivement sur la France métropolitaine. Les départements et régions d'outre-mer (DROM, codes INSEE débutant par 97 ou 98) sont exclus pour deux raisons :

- Aucun arrêté CatNat de type « sécheresse » n'est recensé dans les DROM, ce phénomène étant propre aux sols argileux des zones tempérées.
- Absence de données RGA (Retrait-Gonflement des Argiles) sur ces territoires.

### Variables

- **swi\_04\_d\_abs** : nombre de jours par an où l'indice d'humidité des sols (Soil Water Index, SWI) est inférieur à 0.4, issu des projections climatiques à l'horizon 2050 du portail DRIAS. L'indice « Soil Wetness Indicator » (SWI) représentant la disponibilité en eau pour les besoins des plantes par rapport à la quantité totale d'eau que peut absorber un sol. Un seuil de 0.4 correspond à un état de stress hydrique marqué, est considéré comme sec.
- **nb\_total\_arretes\_sec** : cumulé du nombre d'arrêtés enregistrés impliquant spécifiquement une CatNat "sécheresse".
- **indicateur\_rga** : indicateur de vulnérabilité au Retrait-Gonflement des Argiles (RGA). Indicateur composite de vulnérabilité au Retrait-Gonflement des Argiles (RGA), construit à la maille communale. Il exprime la part du parc de maisons individuelles exposée au risque RGA, pondérée par le niveau d'aléa (faible, moyen, fort) et par la période de construction.
  - Pour chaque commune, les maisons individuelles (usage BDNB « Résidentiel individuel ») sont comptabilisées par croisement :
    - Niveau d'aléa RGA : nul, faible, moyen, fort (données BRGM)
    - Période de construction : avant 1945, 1945–1975, 1976–2020, après 2020, date inconnue
  - Chaque maison est pondérée selon son exposition. Le résultat est normalisé par le scénario le plus défavorable théorique (100 % des maisons en aléa fort, construites entre 1976 et 2020, période correspondant aux DTU non encore adaptés au RGA). L'indicateur est ainsi borné entre 0 et 1.

### Variable intermédiaire

Une variable intermédiaire est calculée comme le **produit** des indices SWI et RGA, puis normalisée selon la même procédure (écrêtage au 99e percentile puis Min-Max) : ce produit est motivé par la complémentarité physique des deux phénomènes : un sol peut être soumis à des sécheresses fréquentes (SWI bas) sans pour autant être argileux, auquel cas le risque RGA est nul. Inversement, un sol très argileux peu exposé à la sécheresse ne génère pas de sinistres. Le produit capture uniquement les situations de co-exposition.

$$\text{Indice}_{\text{SWI} \times \text{RGA}} = \text{indice}(\text{indice}_{\text{SWI} < 0.4} \times \text{indice}_{\text{RGA}})$$

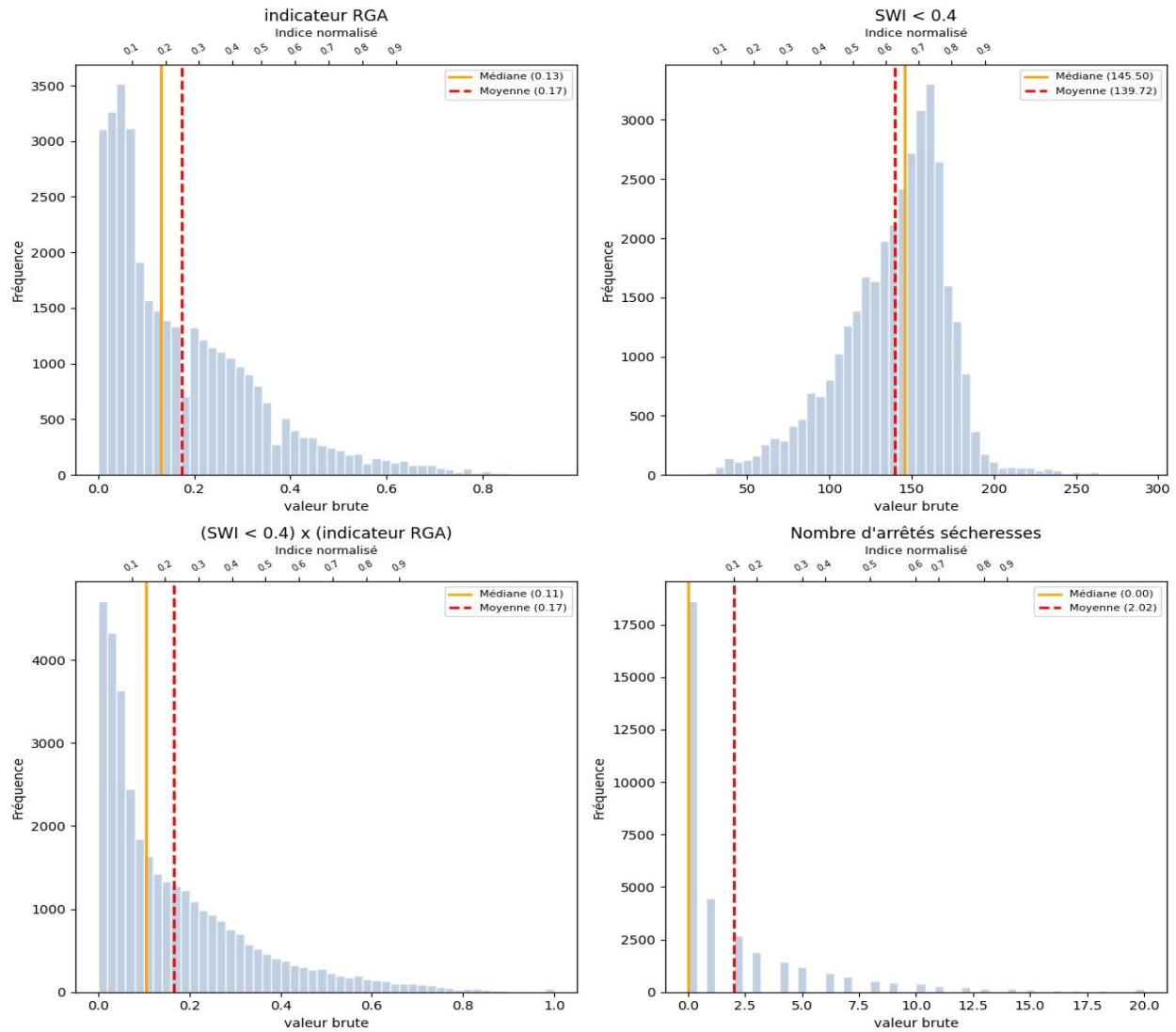


Figure 2 : Distribution des variables de sécheresse sur la métropole. Chaque histogramme représente la distribution des valeurs brutes d'un indicateur, avec en axe supérieur l'indice normalisé correspondant (de 0 à 1). La ligne orange indique la médiane et la ligne rouge pointillée la moyenne. De gauche à droite et de haut en bas : l'indicateur RGA, le SWI < 0.4, le produit (SWI < 0.4) × (indicateur RGA), et le nombre d'arrêts sécheresses.

### Sous-score sécheresse final

Le sous-score sécheresse est la **moyenne quadratique** à pondération égale entre  $\text{indice}_{\text{SWI} \times \text{RGA}}$  et  $\text{indice}_{\text{Nombre arrêts sécheresses}}$ , puis normalisé par son maximum. (Des poids égaux (0,5 / 0,5) ont été retenus, reflétant une hypothèse de contribution symétrique des deux dimensions du risque sécheresse).

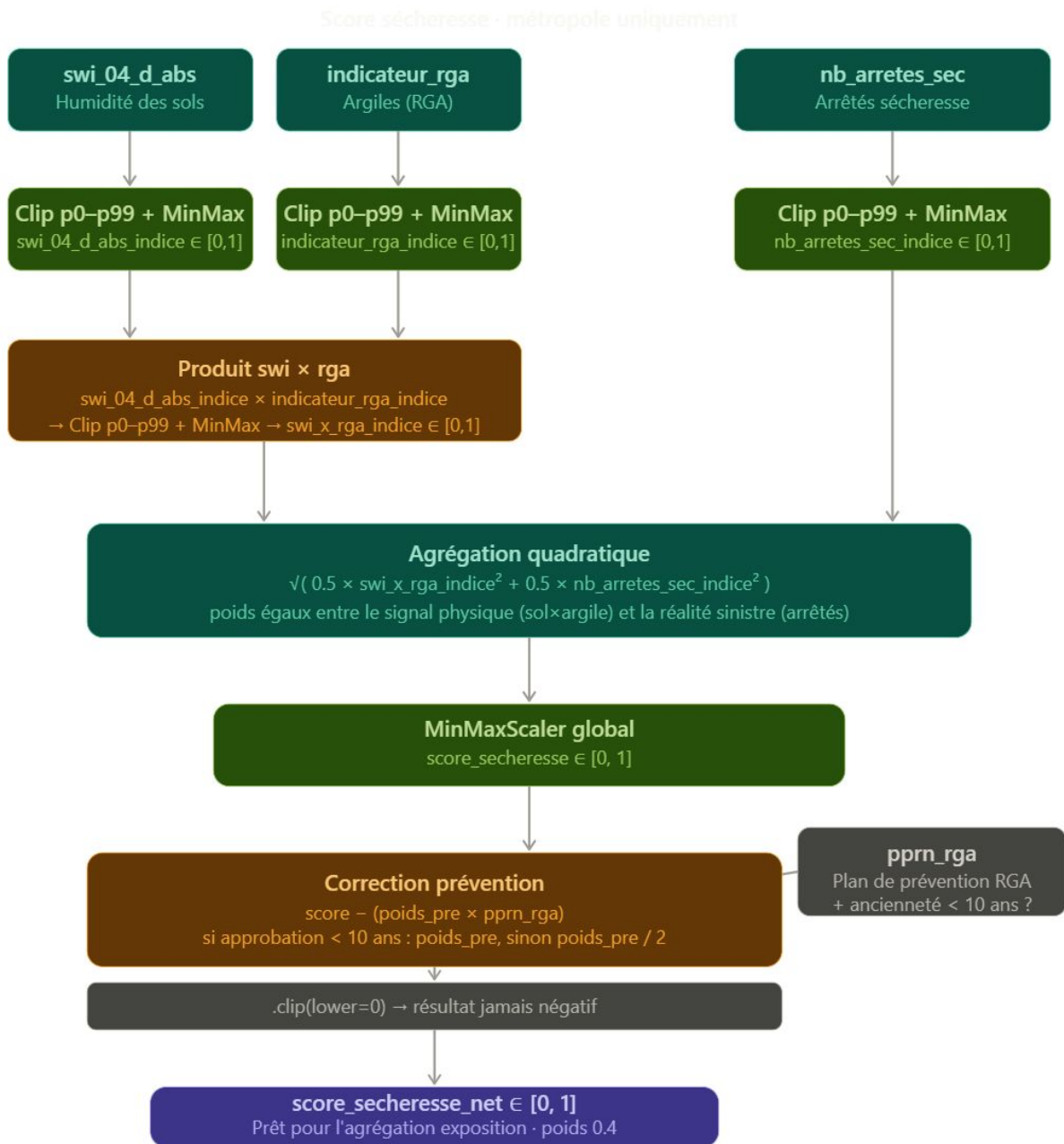
La moyenne quadratique est préférée à la moyenne arithmétique car elle pénalise davantage les valeurs extrêmes sur une seule composante : une commune présentant une exposition très forte sur un seul axe obtient un score plus élevé qu'avec une moyenne simple.

$$\text{Score secheresse} = \sqrt{0.5 \times \text{indice}_{\text{SWI} \times \text{RGA}}^2 + 0.5 \text{indice}_{\text{Nombre arrêtés secheresse}}^2}$$

La normalisation finale par le maximum ramène le score dans l'intervalle [0, 1].

$$\text{Score secheresse} = \frac{\text{Score secheresse}}{\max(\text{Score secheresse})}$$

## Schéma récapitulatif



## Sous-score inondation

### Périmètre

Contrairement au sous-score sécheresse, le sous-score inondation est calculé sur l'ensemble du territoire français, DROM inclus (Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte).

### Variables

- **rr\_50\_d\_abs** : nombre de jours par an où les précipitations sont supérieures ou égales à 50 mm, issu des projections climatiques à l'horizon 2050 du portail DRIAS (Météo-France). Ce seuil de 50 mm journalier est classiquement retenu comme indicateur de précipitations intenses susceptibles de générer des inondations (qui se situe dans la fourchette déclenchant la vigilance orange pluie-inondation de Météo-France (40–80 mm/24h)).
- **nb\_total\_arretes\_ino** : nombre cumulé d'arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle portant spécifiquement sur le péril « inondation » pour chaque commune.
- **indicateur\_tri** : indicateur d'exposition aux inondations (TRI).
  - Agrégation par commune de l'exposition au risque d'inondation (Zonage TRI).
  - Contenu : Tous types de bâtiments (tous usages).
  - Colonnes principales :
    - code\_commune\_insee : Code INSEE de la commune
    - nb\_bats\_total : Nombre total de bâtiments
    - nb\_bats\_exposition\_tri : Nombre de bâtiments en zone de risque (Faible, Moyen, Fort)
    - pct\_exposition\_tri : Ratio de batiments exposées (hors pondération)
    - [usage]\_[scenario] : Détail par usage (resid, service, agri, indus, autres) et scénario (nul, faible, moyen, fort).
  - Sources : BDTOPO (v3) pour le bâti, croisé avec le Zonage TRI (DGPR - Directive Inondation) => <https://www.data.gouv.fr/datasets/territoire-a-risque-dinondation-tri-du-sig-directive-inondation-france-metropolitaine-rapportage-2020-241>
  - Il va s'agir, pour chaque commune, à partir de cette table :
    - d'additionner leurs nombres de bâtiments en les pondérant selon le niveau risque inondation (faible, moyen, fort). Il a été décidé que le type de bâtiment (services, industrielles, etc..) n'entrerait pas en ligne de compte.
    - diviser le résultat par le pire scénario possible d'une commune (avoir tous ses bâtiments avec un risque fort d'inondation)
    - On obtient alors un résultat entre 0 et 1.

## Normalisation

Chaque variable brute est transformée selon la procédure décrite en section [\[Normalisation des variables\]](#) produisant trois indices normalisés compris entre 0 et 1 : indice<sub>Nombre jour rr>50 mm</sub>, indice<sub>TRI</sub> et indice<sub>Nombre arrêtés inondation</sub>.

Aucune variable intermédiaire n'est construite : contrairement au risque sécheresse-RGA où l'aléa climatique n'a de pertinence qu'en présence de sols argileux, des communes situées hors des zonages TRI peuvent présenter un risque d'inondation significatif. Les trois composantes sont donc traitées indépendamment.

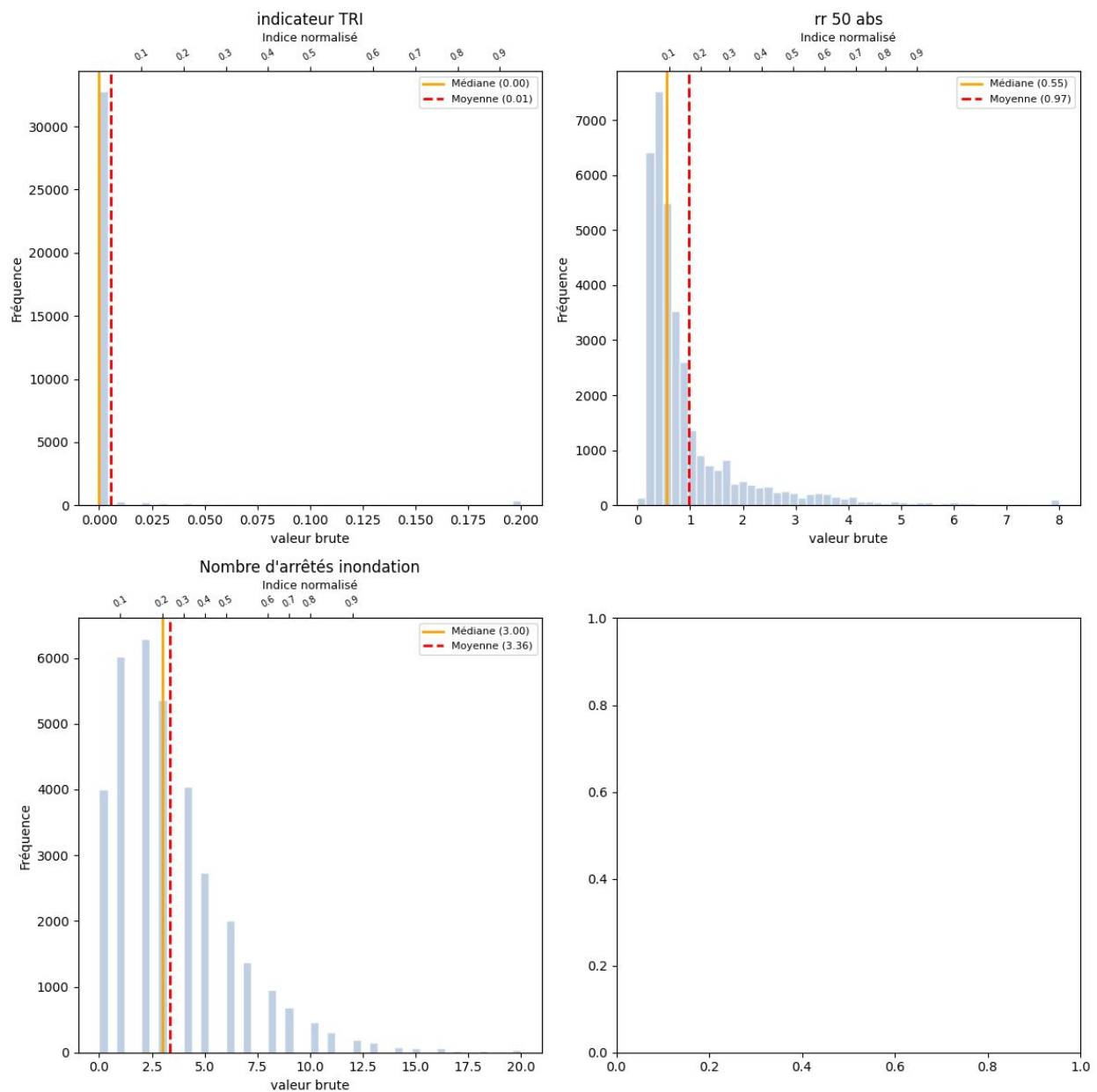


Figure 3 : Distribution des variables d'inondation. Chaque histogramme représente la distribution des valeurs brutes d'un indicateur, avec en axe supérieur l'indice normalisé correspondant (de 0 à 1). La ligne orange indique la médiane et la ligne rouge pointillée la moyenne. De gauche à droite et de haut en bas : l'indicateur TRI, le Nombre jour rr > 50 mm, et le Nombre arrêtés inondation.

### Sous-score inondation final

Il s'agit d'une moyenne quadratique à poids (0.3 indice<sub>Nombre jour rr > 50 mm</sub>, 0.2 indice<sub>TRI</sub> et 0.5 indice<sub>Nombre arrêtés inondation</sub>).

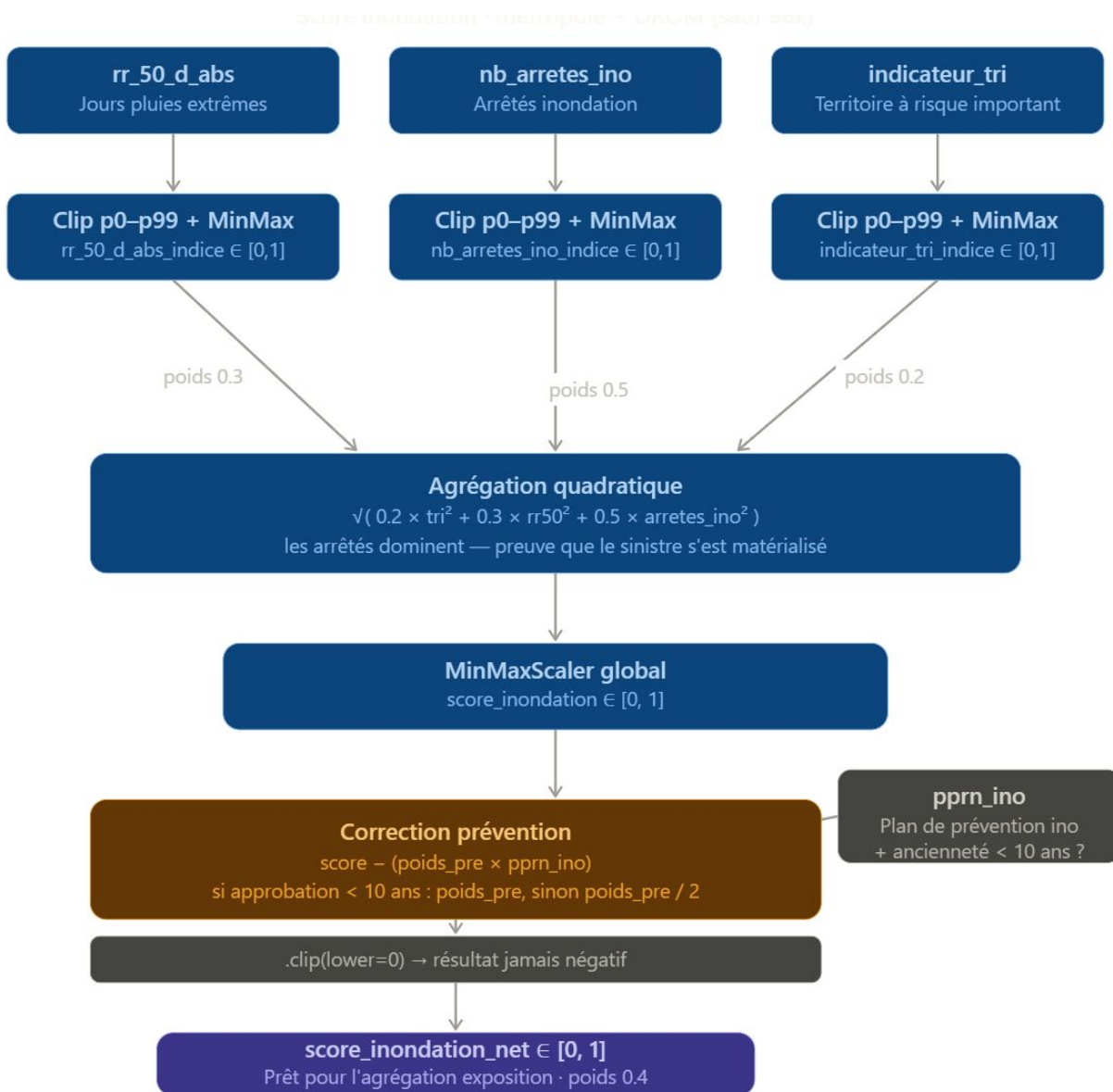
Le poids majoritaire est accordé à indice<sub>Nombre arrêtés inondation</sub> (0.5), la sinistralité historique constituant l'indicateur le plus direct du risque de catastrophes naturelles. indice<sub>Nombre jour rr > 50 mm</sub> reçoit un poids de 0.3 comme mesure objective de l'aléa climatique déclenchant. indice<sub>TRI</sub> reçoit le poids le plus faible (0.2), le zonage TRI ne couvre pas l'ensemble des territoires à risque d'inondation et de la forte concentration de sa distribution autour de zéro, ce qui limite la discrimination de certaines communes.

Score inondation

$$= \sqrt{0.3 \times \text{indice}_{\text{Nombre jour rr} > 50 \text{ mm}}^2 + 0.2 \times \text{indice}_{\text{TRI}}^2 + 0.5 \times \text{indice}_{\text{Nombre arrêtés inondation}}^2}$$

$$\text{Score inondation} = \frac{\text{Score inondation}}{\max(\text{Score inondation})}$$

## Schéma récapitulatif



## Sous-score autres risques

### Périmètre

Le sous-score autres risques est calculé sur l'ensemble du territoire français, DROM inclus (Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte).

## Variables

- Nombre d'arrêtés 'autres', cela comprend les arrêtés de type :
  - Mouvement de Terrain
  - Glissement de Terrain
  - Effondrement et/ou Affaissement
  - Eboulement et/ou Chute de Blocs
  - Glissement et Effondrement de Terrain
  - Glissement et Eboulement Rocheux
  - Tempête
  - Grêle
  - Poids de la Neige
  - Vents Cycloniques
  - Chocs Mécaniques liés à l'action des Vagues
  - Raz de Marée
  - Secousse Sismique, éruption Volcanique

Cette variable brute est transformée selon la procédure décrite en section [[Normalisation des variables](#)], pour obtenir une variable entre 0 et 1 qui force un indice, la distribution est représentée Figure 4.

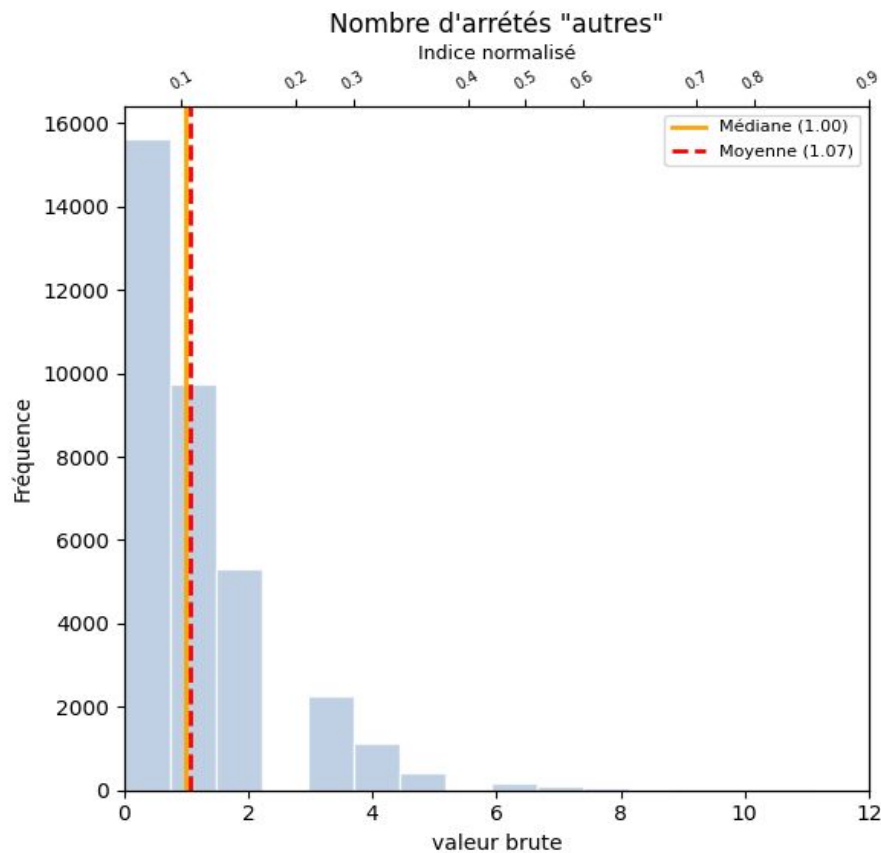
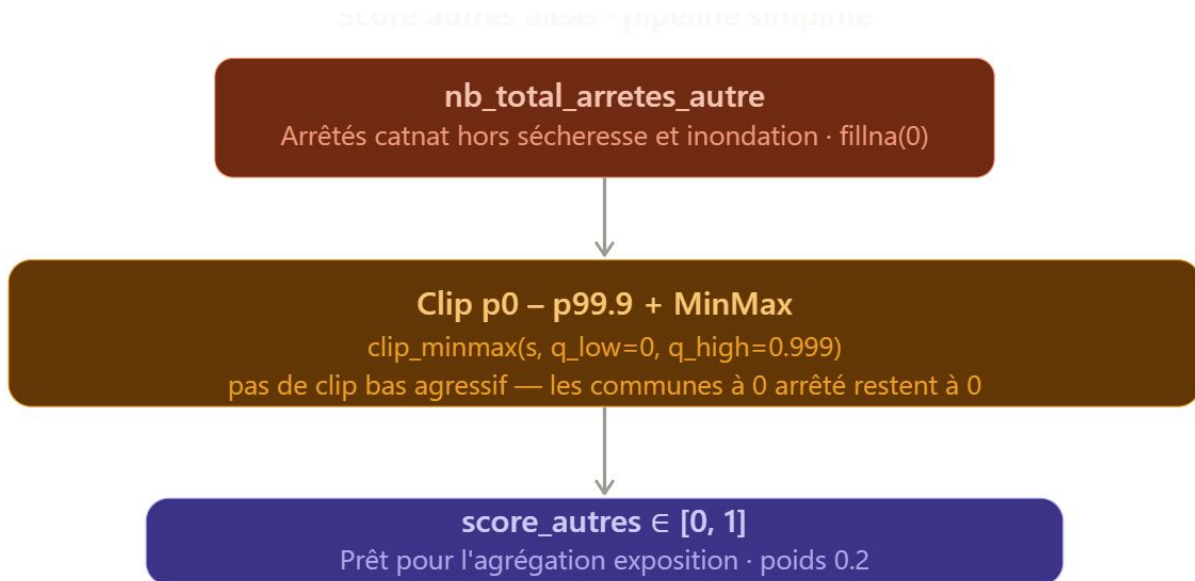


Figure 4 : Distribution de la variable du nombre d'arrêts "autres". L'historgramme représente la distribution des valeurs brutes d'un indicateur, avec en axe supérieur l'indice normalisé correspondant (de 0 à 1).

### Schéma récapitulatif



## Score global exposition

### Déduction PPRN

Avant agrégation, les sous-scores sécheresse et inondation sont corrigés à la baisse en fonction de l'existence d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) approuvé sur la commune. Un PPRN constitue un signal de gestion active du risque, justifiant une réduction du score d'exposition brut. Les sous-scores sécheresse et inondation sont corrigés **indépendamment**, par le PPRN correspondant à son péril :

- Sous-score sécheresse est réduit en fonction de l'existence d'un **PPRN RGA/sécheresse**
- Sous-score inondation est réduit en fonction de l'existence d'un **PPRN inondation**

La réduction appliquée est :

- **PPRN approuvé depuis moins de 10 ans** : réduction de 0.2 (coefficient plein)
- **PPRN approuvé depuis 10 ans ou plus** : réduction de 0.1 (coefficient atténué)

Les sous-scores corrigés sont écrêtés à zéro afin d'éviter toute valeur négative, la correction ne pouvant par construction que diminuer le score brut.

### Agrégation finale et score plancher

Le score d'exposition est calculé en deux étapes successives produisant respectivement un score agrégé et un score plancher, dont le maximum est retenu comme valeur finale.

#### Score agrégé

Les trois composantes, sécheresse nette, inondation nette et autres risques naturels, sont combinées par moyenne quadratique pondérée selon les coefficients 0.4 / 0.4 / 0.2. La moyenne quadratique est préférée à la moyenne arithmétique car elle pénalise les déséquilibres entre composantes : une commune très exposée sur un seul axe obtient un score plus élevé qu'avec une agrégation linéaire, ce qui reflète mieux la nature non-compensatoire des risques naturels. Pour les communes situées hors du périmètre du score sécheresse, les départements et régions d'outre-mer, les poids sont redistribués entre les deux composantes disponibles, portés respectivement à 0.8 pour l'inondation et 0.2 pour les autres risques.

$$\text{Score agrégé} = \sqrt{0.4 \times \text{Score secheresse}^2 + 0.4 \times \text{Score inondation}^2 + 0.2 \times \text{Score autres}^2}$$

#### Score plancher

Un plancher est défini comme le maximum des deux scores nets principaux (sécheresse et inondation). Le score exposition final est ensuite contraint à être au moins égal à ce plancher :

$$\text{Score exposition} = \max(\text{Score agrégé}, \max(\text{Score secheresse}, \text{Score inondation}))$$

Cette contrainte remplit une fonction de protection contre la dilution. En l'absence de plancher, une commune présentant une exposition extrême sur un seul axe (par exemple un score inondation très élevé combiné à des scores sécheresse et autres risques nuls) pourrait se voir attribuer un score agrégé inférieur à son risque dominant en raison de la pondération des composantes faibles.

Le score est ensuite normalisé par son maximum observé dans l'échantillon, afin de le ramener sur une échelle [0, 1] :

$$\text{Score exposition} = \frac{\text{Score exposition}}{\max(\text{Score exposition})}$$

## Score Assurance

L'objectif de cet indicateur est de mesurer la vulnérabilité assurantielle des communes à partir de quatre dimensions complémentaires reflétant à la fois la pression financière liée aux assurances, l'exposition aux événements reconnus au titre du régime CatNat, et les conditions contractuelles observées.

Ces dimensions sont définies comme suit :

- **Évolution des primes d'assurance** entre 2020 et 2024.
- **Part des primes dans le budget communal** sur le budget 2024.
- **Taux de non-reconnaissance des catastrophes naturelles** : part d'arrêtés non reconnus sur le nombre total d'arrêtés par commune.
- **Niveau de franchise appliqué** : multiplicateur de la franchise par commune de la dernière année disponible.

Ces quatre dimensions sont ensuite transformées en indicateurs normalisés dans l'intervalle [0,1] afin de permettre leur agrégation.

## Normalisation générale

La construction des indicateurs repose sur une normalisation min-max, comme l'on peut voir dans la littérature sur les calculs d'indices (notamment celles du Programme des Nations Unies

pour le Développement dans le calcul de l'IDH<sup>2</sup>) et dans les indices de vulnérabilité climatique de référence<sup>3,4,5</sup>.

Chaque variable  $x$  est transformée selon :

$$\text{indice} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

où  $x_{\min}$  et  $x_{\max}$  désignent respectivement les bornes inférieure et supérieure fixées a priori ou déterminées à partir de la distribution empirique (quantiles). Le résultat est ensuite borné dans l'intervalle  $[0,1]$ .

## Évolution des primes d'assurance

La distribution de l'évolution des primes d'assurance entre 2020 et 2024 présente une asymétrie positive marquée, caractérisée par une queue droite étendue. Afin de limiter l'influence des valeurs extrêmes, une transformation logarithmique est appliquée en amont de la normalisation, conformément aux valeurs économiques dans l'indice de développement humain<sup>6</sup>.

$$x' = \ln(1 + x)$$

La normalisation est ensuite effectuée à l'aide d'une borne supérieure correspondant à une hausse de référence de 150 %.

$$x_{\max} = \ln(1 + 1.5) \quad ; \quad x_{\min} = 0$$

Une évolution négative est tronquée à zéro. L'indice de pression sur les primes s'écrit alors :

$$\text{indice}_{\text{prime}} = \min\left(1, \max\left(0, \frac{\ln(1 + x)}{\ln(1 + 1.5)}\right)\right)$$

## Part des primes dans le budget

La part des primes d'assurance dans le budget communal est normalisée par écrêtage interpercentile afin de limiter l'influence des valeurs extrêmes sans les exclure.

---

<sup>2</sup> [Technical notes](#) IDH, UNPD,

<sup>3</sup> Feindouno et al., [The Physical Vulnerability to Climate Change Index: An Index to Be Used for International Policy](#),

<sup>4</sup> HAL, Goujon et al., [The Physical Vulnerability to Climate Change Index computed at the sub-national level](#),

<sup>5</sup> HAL, Feindouno et al., [Measuring physical vulnerability to climate change: The PVCCI, an index to be used for international development policies](#),

<sup>6</sup> [Technical notes](#) IDH, UNPD,

On définit d'abord la variable écrêtée :

$$\tilde{x} = \min(P_{99}, \max(P_1, x))$$

L'indice est ensuite donné par :

$$\text{indice}_{\text{ppb}} = \min\left(1, \max\left(0, \frac{\tilde{x}-P_1}{P_{99}-P_1}\right)\right)$$

où  $P_1$  et  $P_{99}$  représentent respectivement le 1er et le 99e percentile de la distribution.

## Part d'arrêtés non reconnus

Cet indicateur mesure la proportion de demandes de reconnaissance de catastrophe naturelle n'ayant pas abouti à un arrêté favorable :

$$\text{indice}_{\text{Nombre arrêtés non reconnus}} = \frac{N_{\text{arrêtés total}} - N_{\text{reconnus}}}{N_{\text{arrêtés total}}}$$

Lorsque aucune demande n'a été déposée, la valeur est fixée conventionnellement à 1.

## Dernière franchise d'assurance

La franchise d'assurance est une variable ordinale qui décrit le niveau de majoration appliqué à la franchise de base dans le régime CatNat. Elle prend les modalités suivantes : *simple*, *double*, *triple*, *quadruple*.

Cas particulier : absence d'arrêté CatNat. Lorsque aucune CatNat n'a été reconnue, la franchise n'est pas observée. Dans ce cas, on considère que la franchise de la commune est à 0. (Elle implique que la première situation observable en cas de sinistre reconnu est le niveau *simple*)

On code cette variable sur une échelle allant de 0 à 5,  $c \in \{0,1,2,3,4,5\}$ . L'indice est calculé avec :

$$\text{indice}_{\text{franchise}} = \frac{c}{5}$$

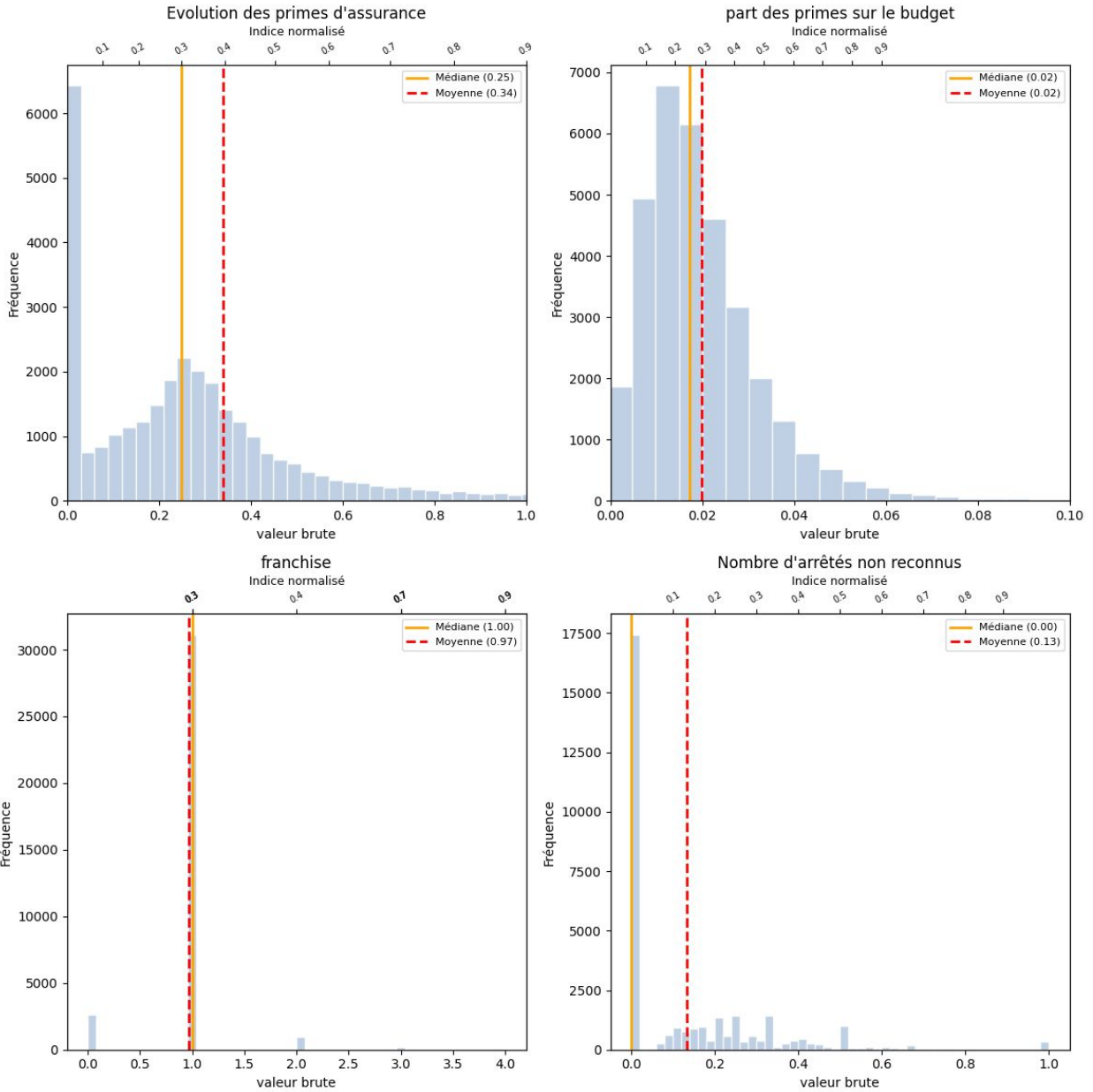


Figure 5 : Distribution des variables d'assurance. Chaque histogramme représente la distribution des valeurs brutes d'un indicateur, avec en axe supérieur l'indice normalisé correspondant (de 0 à 1). La ligne orange indique la médiane et la ligne rouge pointillée la moyenne. De gauche à droite et de haut en bas : l'évolution des primes d'assurance, la part des primes dans le budget, la dernière franchise, le nombre d'arrêtés non reconnus.

## Score global vulnérabilité assurantielle

Les quatre dimensions sont agrégées à l'aide d'une moyenne quadratique pondérée, conformément aux approches utilisées dans les indices de vulnérabilité non compensatoires.

Score assurance

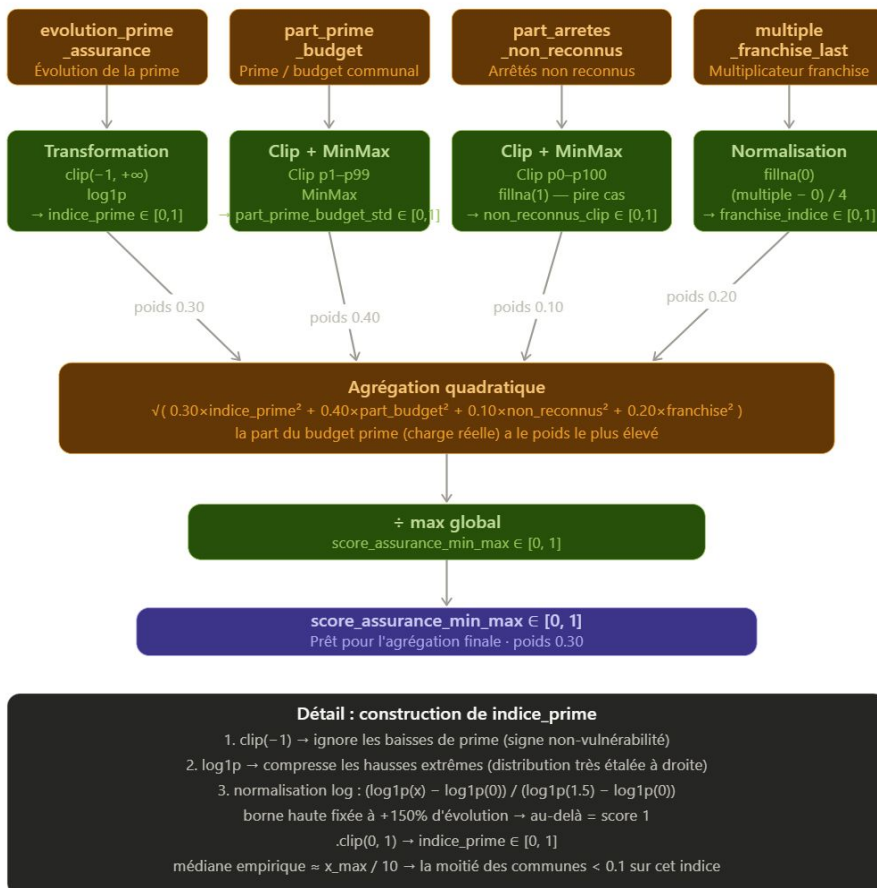
$$= \sqrt{\omega_1 \times \text{indice}_{\text{prime}} + \omega_2 \times \text{indice}_{\text{ppb}} + \omega_3 \times \text{indice}_{\text{Nombre arrêts non reconnus}} + \omega_4 \times \text{indice}_{\text{franchise}}}$$

Avec  $\omega_1 = 0.5$ ,  $\omega_2 = 0.2$ ,  $\omega_3 = 0.2$ ,  $\omega_4 = 0.1$

Le score est ensuite normalisé par son maximum observé dans l'échantillon, afin de le ramener sur une échelle [0, 1] :

$$\text{Score assurance} = \frac{\text{Score assurance}}{\max(\text{Score assurance})}$$

## Schéma récapitulatif



## Score Economique

Le score mesure la capacité financière des communes à absorber des dépenses imprévues liées au changement climatique. Il combine deux dimensions complémentaires : la pression de la dette et le niveau de dépenses par habitant.

### Normalisation des indicateurs

Chaque variable est transformée et normalisée sur l'intervalle [0,1], où 0 correspond à une faible vulnérabilité et 1 à une forte vulnérabilité.

$$\text{indice} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

### Budget par habitant

#### Transformation logarithmique

Les dépenses par habitant sont transformées en  $\log_1 p$  avant normalisation. Cette approche est inspirée de la composante revenu de l'IDH (Indice de développement humain, PNUD), qui applique un logarithme au revenu national brut par habitant pour deux raisons :

- **Utilité marginale décroissante** : un euro supplémentaire compte davantage pour une commune pauvre que pour une commune riche
- **Réduction de l'influence des outliers** : sans log, quelques communes très riches écraseraient l'échelle

$$x' = \ln(1 + x)$$

L'ajout de 1 permet de traiter les valeurs nulles sans distorsion.

#### Calcul du sous-indice dépenses par habitant

Des dépenses élevées traduisent une vulnérabilité plus faible. L'échelle de normalisation est donc construite de façon inverse, de sorte que les communes présentant les dépenses les plus faibles obtiennent un indice proche de 1, tandis que celles disposant des dépenses les plus élevées obtiennent un indice proche de 0. L'indice dépenses se calcule donc comme suit :

$$\text{indice}_{\text{dépenses}} = 1 - \frac{\ln(1 + x) - \ln(1 + x_{\min})}{\ln(1 + x_{\max}) - \ln(1 + x_{\min})}$$

## Borne de la normalisation

Contrairement à une normalisation fondée uniquement sur les extrêmes observés, les bornes de référence sont définies à partir de la distribution empirique et d'hypothèses structurelles sur la vulnérabilité des communes.

Le seuil inférieur  $x_{\min}$  est fixé au 1er percentile de la distribution (p1), afin de limiter l'impact des valeurs atypiques extrêmement faibles. Le seuil supérieur  $x_{\max}$  est défini de manière symétrique selon la distribution observée.

Une hypothèse structurante du score repose sur la position de la commune médiane. On suppose que la commune médiane française est globalement peu vulnérable sur le plan économique.

Dans ce cadre, un score de 0.2 est attribué à la médiane. Ce choix correspond à la frontière entre les catégories « non vulnérable » et « peu vulnérable ». Il traduit une hypothèse conservative : la commune typique n'est pas en difficulté financière, mais elle n'est pas non plus totalement exempte de contraintes budgétaires.

Cette hypothèse permet de calibrer l'échelle de vulnérabilité de manière interprétable plutôt que purement statistique.

La borne maximum est définie comme :

$$x_{\max} = e^{\left(\ln(1+x_{\min}) + \frac{\ln(1+\text{median}) - \ln(1+x_{\min})}{0.8}\right)} - 1$$

## Dette par habitant

Les communes présentant une dette positive sont conservées dans leur valeur observée, tandis que les valeurs manquantes ou aberrantes sont traitées comme nulles lors du nettoyage des données.

De la même manière que pour le budget par habitant, la borne supérieure est déterminée de manière à ce que la médiane de la distribution (0.58) corresponde à un score normalisé de 0.2.

$$x_{\max} = x_{\min} + \frac{0.58 - x_{\min}}{0.2}$$

Indice de la dette est calculée avec :

$$\text{indice}_{\text{dette}} = \min \left( 1, \max \left( 0, \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \right)$$

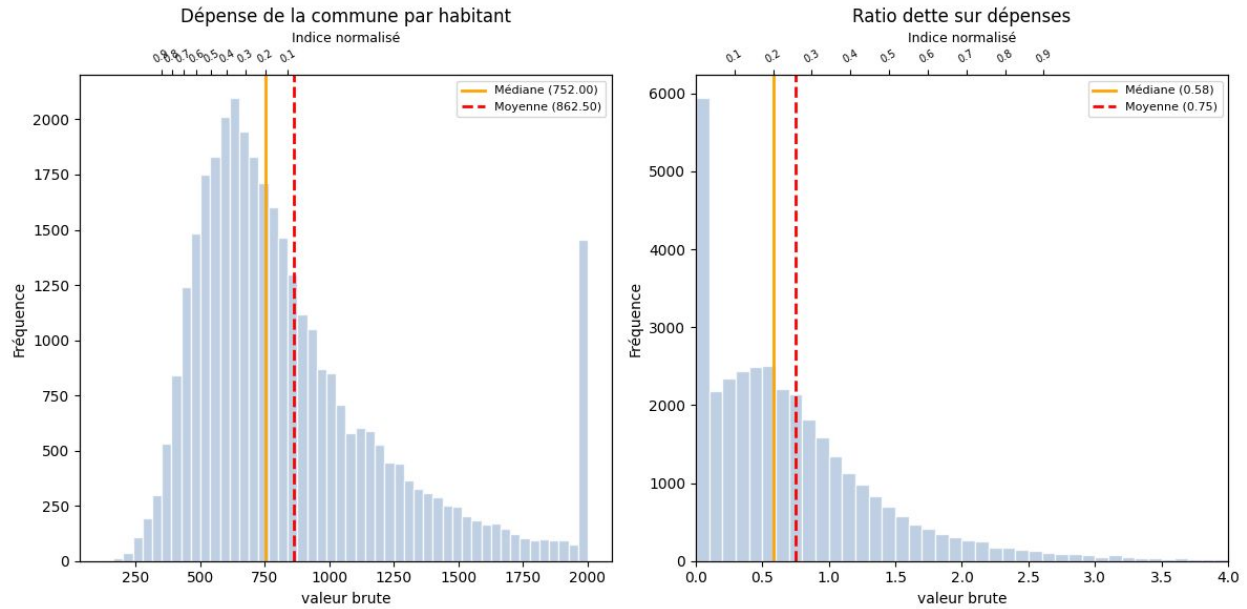


Figure 6 : distribution des variables économique. Chaque histogramme représente la distribution des valeurs brutes d'un indicateur, avec en axe supérieur l'indice normalisé correspondant (de 0 à 1). La ligne orange indique la médiane et la ligne rouge pointillée la moyenne. Gauche : dépenses de la commune par habitant, droit : ratio de la dette sur les dépenses.

## Score Economique final

Les deux variables normalisées sont agrégées à l'aide d'une moyenne quadratique pondérée, en attribuant un poids égal à la dette et aux dépenses.

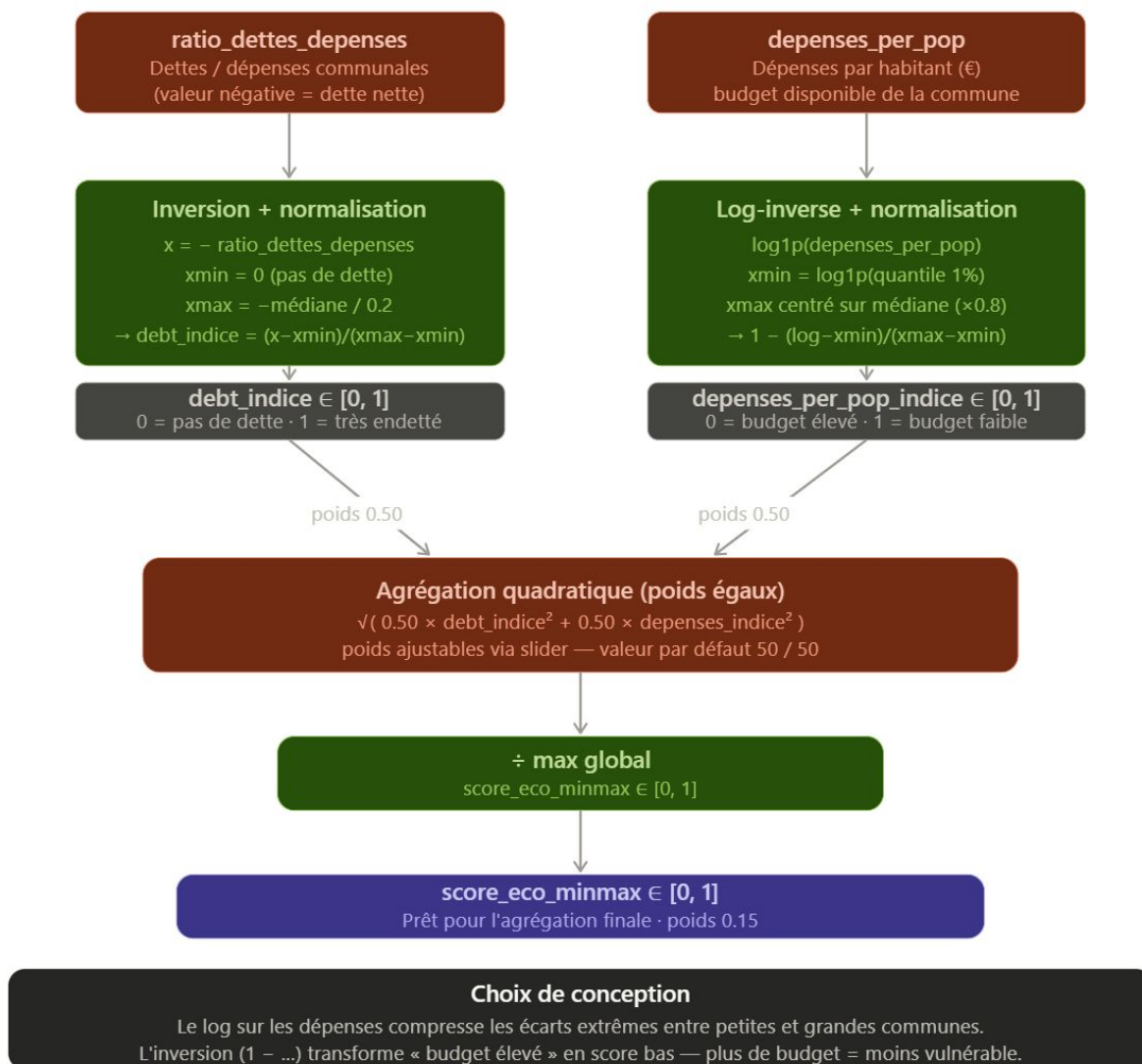
$$\text{Score économique} = \sqrt{0.5 \times \text{indice}_{\text{dette}}^2 + 0.5 \times \text{indice}_{\text{dépenses}}^2}$$

Le score est ensuite normalisé par son maximum observé dans l'échantillon, afin de le ramener sur une échelle [0, 1] :

$$\text{Score économique} = \frac{\text{Score économique}}{\max(\text{Score économique})}$$

## Schéma récapitulatif

## Score économique



## Score global de vulnérabilité

Le score global de vulnérabilité combine trois dimensions complémentaires : la vulnérabilité assurantielle, la vulnérabilité économique et une vulnérabilité d'exposition.

Le score global est défini comme une moyenne quadratique pondérée :

$$\text{Score global} = \sqrt{\omega_1 \times \text{Score exposition}^2 + \omega_2 \times \text{Score économique}^2 + \omega_3 \times \text{Score assurance}^2}$$

Avec  $\omega_1 = 0.5$ ,  $\omega_2 = 0.1$ ,  $\omega_3 = 0.4$

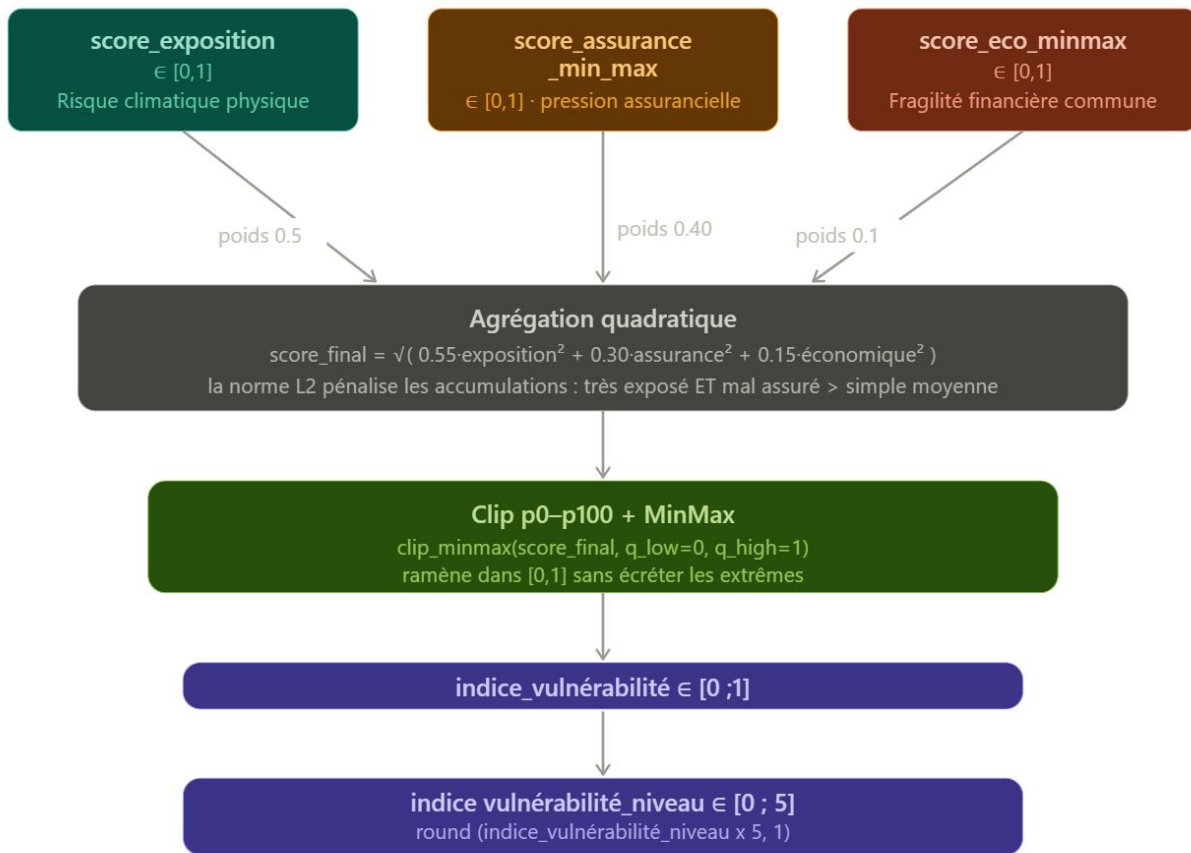
Les pondérations reflètent l'importance relative des différentes dimensions dans la mesure de la vulnérabilité globale :

- Le score Exposition (0,5) est la composante principale, car il conditionne directement l'intensité du risque auquel les communes sont soumises.
- Le score Assurance (0,4) capte la pression financière liée au système assurantiel et constitue un signal direct de tension économique liée aux sinistres.
- Le score Economique (0,1) joue un rôle plus structurel, en reflétant la capacité budgétaire d'absorption des chocs.

Le score est ensuite normalisé par son maximum observé dans l'échantillon, afin de le ramener sur une échelle [0, 1] :

$$\text{Score global} = \frac{\text{Score global}}{\max(\text{Score global})}$$

## Schéma récapitulatif



# Sources de données et pré-traitements réalisés

## Exposition aux catastrophes naturelles

- Liste des arrêtés de catastrophes naturelles consultables sur [le portail de la CCR](#)
- Scénario d'évolutions climatiques à 2050 mis à disposition par Météo France sur le portail DRIAS (2026-03) :
  - [https://www.drias-climat.fr/drias\\_prod/accueil/okapiWebDrias/index.jsp?iddrias=climat](https://www.drias-climat.fr/drias_prod/accueil/okapiWebDrias/index.jsp?iddrias=climat)
- Exposition des zones géographique aux risques de retrait-gonflement des argiles (RGA) disponible sur la base nationale Géorisques (2026) :
  - <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/retrait-gonflement-des-argiles-version-2026>
- Exposition des zones géographiques aux risques d'inondation (2020) :
  - <https://www.data.gouv.fr/datasets/territoire-a-risque-dinondation-tri-du-sig-directive-inondation-france-metropolitaine-rapportage-2020-241>
- Base de données nationale des bâtiments (2025-07) :
  - <https://www.data.gouv.fr/api/1/datasets/r/ad4bb2f6-0f40-46d2-a636-8d2604532f74>
- Référentiel géographique des communes françaises Opendatasoft (2026-03) :
  - <https://public.opendatasoft.com/api/explore/v2.1/catalog/datasets/georef-france-commune/exports/geojson>

## Prévention

- Fichier PPRN de la base nationale GASPAR (**G**estion **A**ssistée des **P**rocédures **A**ministratives relatives aux **R**isques) (2025-12) :
  - <http://files.georisques.fr/GASPAR/gaspar.zip>

## Situation économique

- Balance comptable des communes mise à disposition par le Ministère de l'Economie et des Finances (années 2022 à 2024) :
  - <https://data.economie.gouv.fr/explore/dataset/balances-comptables-des-communes-en-2024>
- Base de données gouvernementales / INSEE de la population des communes françaises (2026-01) :
  - <https://www.data.gouv.fr/api/1/datasets/r/be303501-5c46-48a1-87b4-3d198423ff49>
  - <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5392668?sommaire=2120838> (Mayotte)

- Population : population à l'année de recensement (année d'entrée en vigueur INSEE - 3 ans, donc 2023 au mieux)
- Pour Mayotte, la population retenue pour toutes les années est celle du recensement 2017, seule donnée disponible
- Pour Paris, Lyon et Marseille, les données de population correspondent à la somme des données de recensement de tous les arrondissements
- Nota : La valeur de dépenses par habitant retenue dans le calcul de score est la dernière valeur disponible de 2022 à 2024. A part Mayotte, c'est donc au mieux la valeur 2023 qui est utilisée.

## Assurance

- Balance comptable des communes mise à disposition par le Ministère de l'Economie et des Finances ([années 2022](#), [2023](#) et [2024](#)) :
  - Primes d'assurance multirisque : solde des comptes 6161 (débiteurs - créditeurs)
  - Dépenses de la commune : solde des comptes de type dépense (débiteurs - créditeurs)
  - Dettes de la commune : obtenues comme somme l'opposé du solde des comptes de type dette (soit créditeurs - débiteurs) de la commune en 2024 (comptes commençant par 16 dans le bilan comptable). Lorsque la valeur obtenue est négative pour une commune, elle est indiquée comme indisponible
- Liste des arrêtés de catastrophes naturelles consultables sur <https://www.ccr.fr/portail-catastrophes-naturelles/liste-arretes/>
  - Multiplicateur de franchise : dernière franchise correspondant au niveau de majoration appliqué à la franchise de base dans le régime CatNat (simple, double, triple, quadruple)
  - Catégorisation des types de catastrophes naturelles à partir du nom de péril cité dans l'arrêté :
    - Sécheresse :
      - Sécheresse
    - Inondation :
      - Inondations et/ou Coulées de Boue
      - Inondations Remontée Nappe
      - Coulée de Boue
      - Lave Torrentielle
    - Autres :
      - Mouvement de Terrain
      - Glissement de Terrain
      - Effondrement et/ou Affaissement
      - Eboulement et/ou Chute de Blocs
      - Glissement et Effondrement de Terrain
      - Glissement et Eboulement Rocheux

- Tempête
- Grêle
- Poids de la Neige
- Vents Cycloniques
- Chocs Mécaniques liés à l'action des Vagues
- Raz de Marée
- Secousse Sismique', 'Eruption Volcanique
- ...