

Date

**Mars 2021**

# **VILLE DE PARIS**

ACTUALISATION DU DIAGNOSTIC  
DE VULNERABILITÉS ET DE  
ROBUSTESSES DE PARIS FACE AUX  
CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET A  
LA RAREFACTION DES RESSOURCES

## **CAHIER 1 : MÉTHODOLOGIE**

Rédacteurs Adeline Cauchy, Imane Bourkane (Ramboll)  
Vérificateur Adeline Cauchy (Ramboll)  
Approbateur Ghislain Dubois (Ramboll)  
Coordination **Julie Roussel**  
Ville de Paris **Yann Françoise**

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>1. PERIMETRE DU DIAGNOSTIC TERRITORIAL</b>	<b>2</b>
1.1 Aléas climatiques et ressources	2
1.2 Systèmes analysés	3
<b>2. EVOLUTIONS STRUCTURELLES DE LA MÉTHODOLOGIE ET IMPLICATIONS</b>	<b>4</b>
2.1 D'un indice de vulnérabilité à un indice de risque	4
2.2 Une formule opérationnelle ajustée	5
2.3 Une méthode de calcul revisitée	6
2.4 Des exercices 2012 et 2020 peu comparables	7
<b>3. PRÉSENTATION DE L'INDICE 2020 ET DE LA LOGIQUE D'ACTUALISATION</b>	<b>8</b>
3.1 Description de l'indice de risque	8
3.2 Notation de la composante « Aléas et Ressources »	9
3.3 Notation de la composante « Exposition »	10
3.4 Notation de la composante « Vulnérabilité »	11
3.5 Notation de la composante « Effets domino »	13
3.6 Notation du risque historique et 2050	14
3.7 Présentation des résultats	15
3.8 Logique d'actualisation	18
<b>4. GESTION DES DONNÉES ET GÉORÉFÉRENCIEMENT</b>	<b>19</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>20</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>21</b>

## ANNEXES

### Annexe 1

Grille de référence pour la notation des systèmes

## INTRODUCTION

Précisant son Plan Climat de 2007 alors principalement consacré au volet atténuation, la Ville de Paris s'est dotée en 2012 d'une première étude de vulnérabilités et de robustesses face au changement climatique et à la raréfaction des ressources. Ce diagnostic a permis de dresser un inventaire exhaustif des vulnérabilités socio-économiques et environnementales à l'œuvre sur son territoire.

Paris y apparaît comme une ville robuste à bien des égards : solidité de ses infrastructures, existence de plans de gestion et de prévention des risques, ouvrages de protection notamment. Mais elle présente aussi des fragilités : amplification des canicules et de l'îlot de chaleur urbain, sécheresses de plus en plus sévères, incertitude sur la survenue d'une crue centennale. Ces modifications à l'œuvre affectent déjà les ressources du territoire (eau, biodiversité, énergie), les populations (santé, précarité), les infrastructures (réseaux, bâti) et activités économiques et administratives, fortement concentrées sur la capitale.

Forte de cette étude, la Ville a engagé un travail de co-construction et d'implication de ses services dans une démarche d'adaptation conduisant à l'adoption, en septembre 2015, d'une stratégie globale d'adaptation au changement climatique.

La Ville de Paris souhaite aujourd'hui conforter la place de l'adaptation au sein de sa politique climatique. En cohérence avec ses obligations réglementaires, elle requiert l'actualisation de ses outils de pilotage permettant d'apprécier et d'anticiper l'évolution des risques climatiques et de raréfaction de ses ressources.

Cette actualisation s'organise en plusieurs étapes :

- **La mise à jour de la méthodologie de diagnostic (Cahier 1 ; présent cahier) ;**
- La mise à jour de la composante « aléas » de cette approche, notamment par le développement de projections climatiques dernière génération utilisant la base de données servant le prochain rapport du GIEC (AR6) (Cahier 2) ;
- La mise à jour de la composante « ressources » avec l'inclusion notamment de nouvelles dimensions prospectives et thématiques (qualité de l'air) (Cahier 3) ;
- L'actualisation de la notation des systèmes et une vision transversale des priorités (Cahier 4) ;
- L'approfondissement de la connaissance autour de certains systèmes :
  - Système assurantiel (Cahier 5)
  - Migrations climatiques (Cahier 6)
  - Grands événements (Cahier 7)
- La création d'un répertoire des données géolocalisées collectées, pour la préparation future d'un atlas cartographique de la vulnérabilité du territoire parisien ;
- La mise à disposition d'un set d'outils de communication (plaquette grand public, infographies et vidéo).

Ce cahier présente la méthodologie inhérente à l'actualisation du diagnostic de vulnérabilités et de robustesses. Il donne à voir le périmètre du diagnostic, les évolutions requises du cadre méthodologique et les conséquences pour l'exercice 2020. Enfin, les détails de l'indice 2020 sont présentés ainsi que l'approche de gestion des données.

# 1. PERIMETRE DU DIAGNOSTIC TERRITORIAL

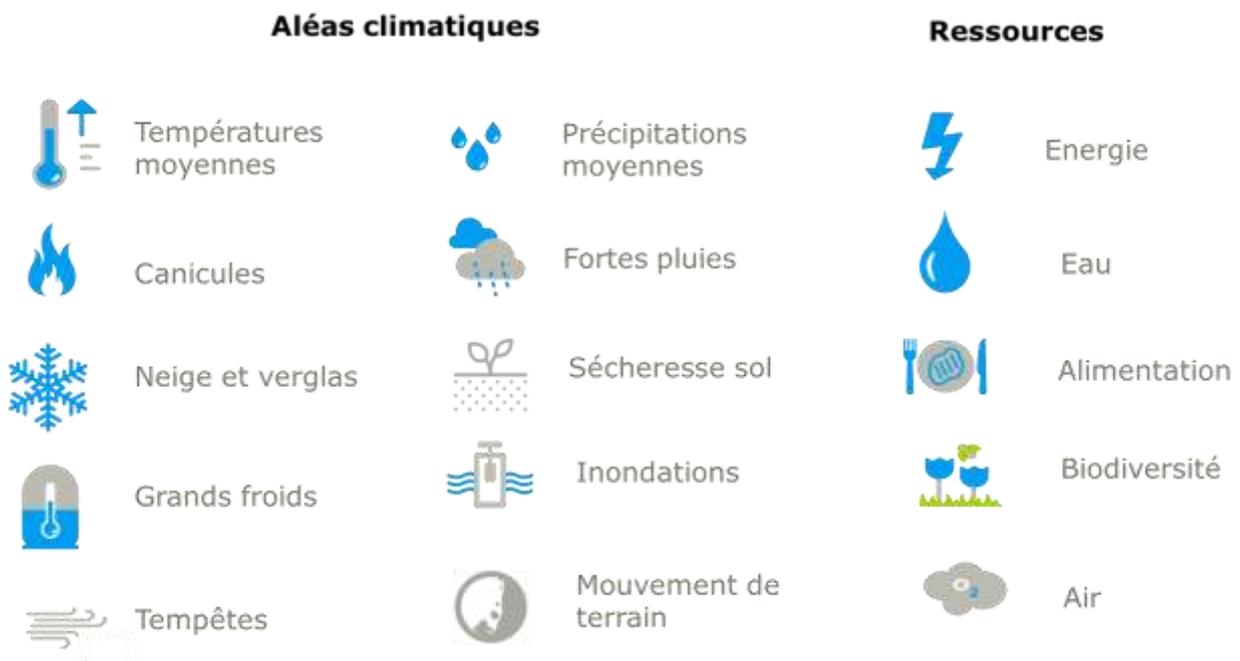
Cette section présente le périmètre du diagnostic de risques et de robustesses du territoire face aux changements climatiques et à la raréfaction des ressources.

## 1.1 Aléas climatiques et ressources

Le diagnostic repose sur la mise à jour d'un set d'aléas climatiques tendanciels (ex : précipitation moyenne) et sévères (ex : canicule) ainsi que des aléas physiques (ex : inondation) permettant d'apprécier les changements climatiques en cours et à venir sur le territoire parisien. Les aléas retenus sont identiques à ceux de l'étude de 2012. Leur actualisation fait l'objet d'un cahier dédié (Cahier 2).

Le diagnostic repose également sur l'étude de la raréfaction des ressources et leur actualisation (Cahier 3). Ces dernières demeurent inchangées à l'exception de la ressource « Air », volontairement ajoutée par la Ville de Paris.

Figure 1 : Les aléas climatiques et ressources étudiés



Il nous semble important de préciser les modalités de prise en compte de la sécheresse sous les différents aléas et ressources, pour éviter la double comptabilité du phénomène<sup>1</sup>.

Plusieurs formes de sécheresse sont étudiées :

- **La sécheresse des sols** (aussi appelé sécheresse édaphique ou agricole) : le déficit de précipitation sur une période plus ou moins longue se répercute sur les sols et altère le développement de la végétation (les racines ne sont plus capables d'extraire l'eau du sol).
- **La sécheresse hydrologique** : le déficit pluviométrique peut se répercuter sur le niveau d'eau des milieux (eaux souterraines et superficielles) et conduire à des sécheresses dites hydrologiques (étiage sévère voir assec dans certain cas). **Dans la présente étude, ce phénomène est étudié dans le volet raréfaction de la « ressource en eau ».**

<sup>1</sup> Dans l'exercice de 2012, l'aléa sécheresse ne se limitait pas au sol. La sécheresse hydrologique était souvent comptabilisée deux fois, sous l'aléa sécheresse mais aussi dans l'étude de la raréfaction de la « ressource en eau ».

- **La sécheresse géotechnique** : il s'agit de la déformation des sols argileux par manque d'eau, qui entraîne la fragilisation et la fissuration des bâtiments à faibles fondations. Cet aléa est étudié sous le volet « mouvement de terrain ».

## 1.2 Systèmes analysés

Les systèmes retenus font l'objet d'une nomenclature définie par la Ville de Paris et présentée ci-après (

Figure 2). Ils sont regroupés par grandes thématiques : cadre urbain, attractivité économique et sociale etc. Par rapport à 2012, deux systèmes ont été ajoutés : grands événements et sous-sols. L'actualisation des résultats pour les systèmes est présentée dans le cahier 4. Enfin, trois systèmes font l'objet d'un approfondissement dédié : système assurantiel (cahier 5), migrations climatiques (cahier 6) et grands événements (cahier 7).

Figure 2 : Systèmes analysés



## 2. EVOLUTIONS STRUCTURELLES DE LA MÉTHODOLOGIE ET IMPLICATIONS

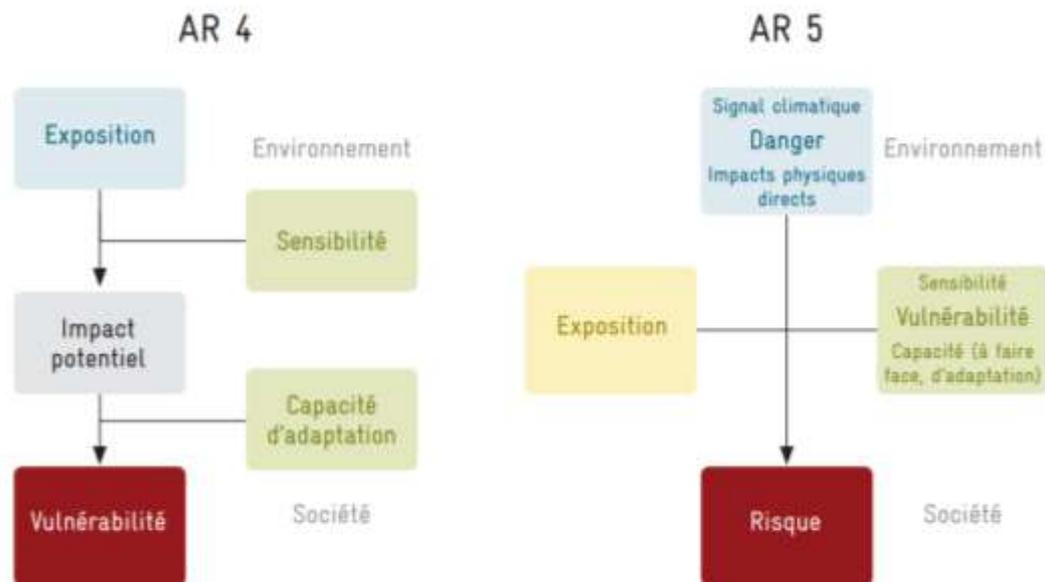
### 2.1 D'un indice de vulnérabilité à un indice de risque

L'indice de 2012 reposait sur le concept de vulnérabilité tel que défini par le GIEC dans son quatrième rapport d'évaluation (*Assessment Report 4* dit AR4) : « Degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation » (Parry et al. 2007).

Dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC (AR5) et celui à venir (AR6), le concept de risque supplante le concept de vulnérabilité. Ce concept s'inspire des méthodes utilisées dans le champ de la Réduction des Risques de Catastrophes (RRC) et donne implicitement plus de poids aux aléas (directs ou impacts physiques)<sup>2</sup>. Le risque est ici défini comme « conséquences éventuelles et incertaines d'un événement sur des éléments de valeur (...). Le risque résulte de l'interaction entre la vulnérabilité, l'exposition et les aléas (...). »<sup>3</sup>. La vulnérabilité devient une des composantes et est le produit de la sensibilité et de la capacité d'adaptation.

La figure ci-dessous (Figure 3) présente cette évolution conceptuelle entre l'AR4 et l'AR5.

**Figure 3 : Comparaison des composantes de la vulnérabilité au changement climatique (AR4) et du risque climatique (AR5).**



Source : GIZ et EURAC, 2017 : Guide complémentaire sur la vulnérabilité : le concept de risque  
[https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/02/GIZ\\_Risk-Supplement\\_French.pdf](https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/02/GIZ_Risk-Supplement_French.pdf)

La présente étude propose donc un alignement de l'indice au cadre conceptuel en vigueur (AR5 et AR6).

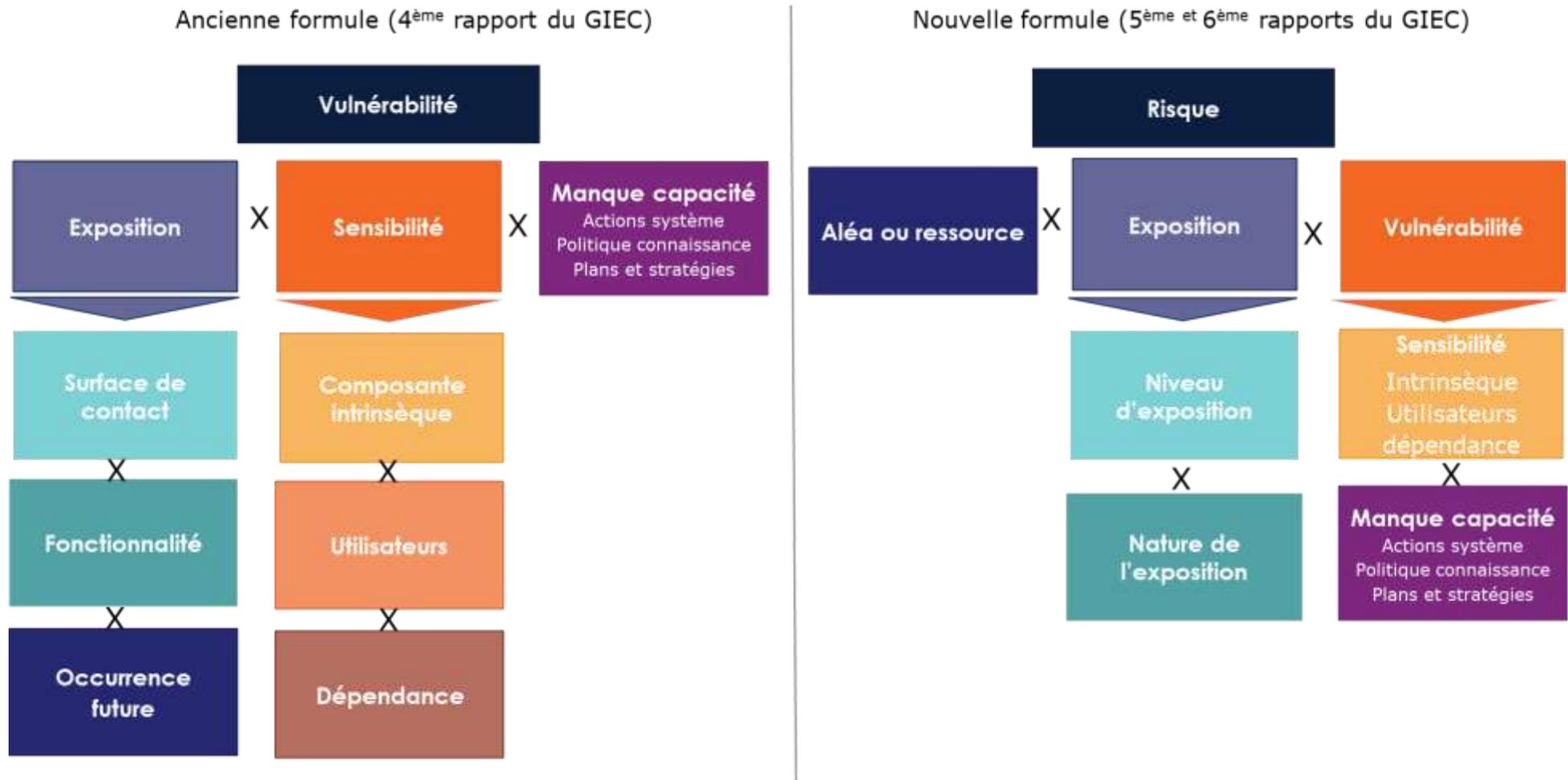
<sup>2</sup> GIZ et EURAC 2017 : Guide complémentaire sur la vulnérabilité : le concept de risque. Lignes directrices sur l'utilisation de l'approche du Guide de référence sur la vulnérabilité en intégrant le nouveau concept de risque climatique de l'AR5 du GIEC. Bonn : GIZ.20  
[https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/02/GIZ\\_Risk-Supplement\\_French.pdf](https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/02/GIZ_Risk-Supplement_French.pdf)

<sup>3</sup> GIEC, 2014 : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5\\_SPM\\_Top\\_Level\\_Findings\\_fr-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5_SPM_Top_Level_Findings_fr-1.pdf).

## 2.2 Une formule opérationnelle ajustée

La formule opérationnelle de l'indice des systèmes parisiens est ainsi redéfinie pour tenir compte de l'évolution du cadre conceptuel. Les différences entre les deux formules sont présentées dans la figure ci-dessous (Figure 4). Le détail des composantes pour la nouvelle formule est présenté dans la partie suivante.

Figure 4 : Ancienne formule de vulnérabilité et nouvelle formule de risque utilisées pour le diagnostic territorial



### 2.3 Une méthode de calcul revisitée

Dans l'étude précédente, l'agrégation des sous-composantes et des composantes a été effectuée à travers un simple produit. Cette méthode n'est pas documentée dans la littérature scientifique et semble produire par sa nature des notes particulièrement faibles<sup>4</sup>.

$$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} \cdot \text{Sensibilité} \cdot \text{Manque d'adaptation}$$

Cette actualisation entend reposer sur une approche discutée par la communauté scientifique internationale dans le cadre des analyses de risque climatiques.

Deux principales approches sont généralement retenues : la moyenne arithmétique et la moyenne géométrique.<sup>5</sup>

**La moyenne arithmétique** (notée  $\bar{X}$ ) est la somme des observations divisée par le nombre  $n$  d'observations et se calcule de la manière suivante :

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Calculer un indicateur de risque à travers cette méthode revient à additionner les notes des composantes (aléa, exposition et vulnérabilité) puis diviser par la somme de l'ensemble des notes des composantes, comme indiqué dans la formule ci-dessus.

Cette méthode conduit à ce que l'on appelle dans la littérature la « pleine compensation »<sup>6</sup>, une bonne note d'une composante peut compenser une faible note d'une autre composante. Cette compensation représente une limite importante dans le calcul d'un indicateur de risque car elle favorise la substituabilité des composantes.

**La moyenne géométrique** (notée  $G$ ) d'une suite de données  $x_n$  est la racine nième du produit de cette suite de donnée, elle est calculée de la manière suivante :

$$G = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * \dots * x_n}$$

L'agrégation géométrique implique une multiplication des notes des composantes sous la racine du nième produit. Contrairement à l'agrégation arithmétique, celle-ci ne permet qu'une compensation partielle. Cela signifie qu'une très faible note pour une composante ne peut que partiellement compenser une très bonne note d'une autre composante. Il a été démontré que les agrégations multiplicatives ont une meilleure validité que les agrégations additives et reflètent mieux les processus synergétiques entre les composantes.<sup>7</sup>

Dans cette étude nous avons fait le choix d'utiliser la moyenne géométrique pour agréger les sous-composantes et les composantes.

Il est opportun de noter que l'une des principales composantes d'un indice de vulnérabilité peut être d'une importance cruciale pour le système étudié, plus ou moins indépendamment du niveau des autres composantes. Dans ce cas, il est pertinent d'utiliser la moyenne géométrique car elle permet de réduire le niveau de substituabilité des composantes. Les mauvais résultats dans une dimension sont désormais directement reflétés dans la moyenne géométrique, autrement dit un mauvais résultat dans une composante n'est plus compensé de manière linéaire par un bon

<sup>4</sup> Ville de Paris, 2012 : Diagnostic de vulnérabilités et de robustesse de Paris face aux changements climatiques et à la raréfaction des ressources, rapport de phase 3.

<sup>5</sup> OCDE, 2008: Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Technical Report. (*Guide pratique sur la construction d'indicateurs composites : méthodologie et guide de l'utilisateur. Rapport technique*) Paris : Publication de l'OCDE. <http://www.oecd.org/std/42495745.pdf>

<sup>6</sup> OCDE, 2008.

<sup>7</sup> El-Zein, A., & Tonmoy, F. N., 2015: Assessment of vulnerability to climate change using a multi-criteria outranking approach with application to heat stress in Sydney. *Ecological Indicators*, 48, 207-217.

résultat dans une autre.<sup>8</sup> Cette notion a également été introduite en 2010 pour améliorer le calcul d'agrégation de l'Indicateur de Développement Humain (IDH) avec le passage d'une moyenne arithmétique à une moyenne géométrique.<sup>9</sup>

Finalement, la formule retenue pour noter le risque est la suivante :

$$\text{Risque} = \sqrt[3]{\text{Aléa} * \text{Exposition} * \text{Vulnérabilité}}$$

Ce changement de calcul au niveau de l'agrégation des sous-composantes et des composantes modifie considérablement les notes.

L'exercice de 2012 additionne également à la note de vulnérabilité finale, une note d'effets dominos.

$$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} + \text{Sensibilité} + \text{Manque d'adaptation} + \text{Effets domino}$$

Dans un souci de cohérence, cette note additionnelle sera également proposée mais en seconde lecture et ce afin de ne pas « étouffer » l'analyse des risques climatiques et de raréfaction dans la note globale<sup>10</sup>.

$$\text{Risque (avec effets dominos)} = \sqrt[3]{\text{Aléa} * \text{Exposition} * \text{Vulnérabilité}} + \text{effets dominos}$$

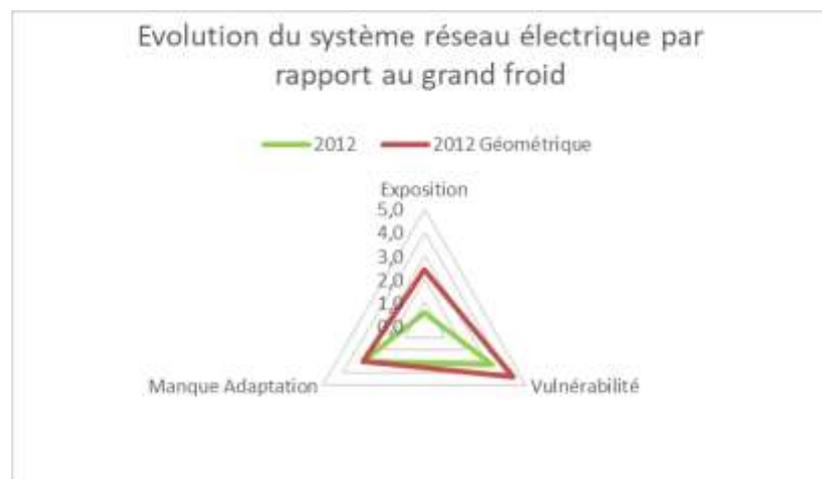
## 2.4 Des exercices 2012 et 2020 peu comparables

En raison des modifications apportées en matière de formule, de calcul et de restitution, les notes ne sont donc pas comparables.

A notation constante 2012, l'application des changements méthodologiques engendre une variation considérable des notes initiales. En prenant comme exemple le système de réseau électrique face à l'aléa grand froid, la note d'exposition de 2012 calculée avec une moyenne simple tend à sous-estimer l'exposition du système face à l'aléa car les faibles notes de l'aléa et du niveau d'exposition se substituent à la forte note de la nature de l'exposition (Figure 5).

La note de risque passe ainsi de **0.2/5 avec l'agrégation par produit simple à 3,2/5 avec l'agrégation par moyenne géométrique.**

Figure 5 : Comparaison à notation égale mais à calcul différent d'agrégation des notes des composantes du risque (sans effet domino)



<sup>8</sup> Simonet, C., 2012 : Changement climatique, chocs pluviométriques et sécurité alimentaire : essais sur l'usage de l'information climatique en économie du développement. Economies et finances. Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2012. Français. ffNNT : 2012CLF10392ff. fftel-01167548f

<sup>9</sup><http://hdr.undp.org/en/node/2550#:~:text=En%202010%2C%20on%20a%20introduit,bon%20r%C3%A9sultat%20dans%20une%20autre.>

<sup>10</sup> Se reporter au rapport 3 de l'étude de 2012 et aux résultats sans la note d'effets domino. La note d'effet domino supplante l'analyse de risque climat et de raréfaction.

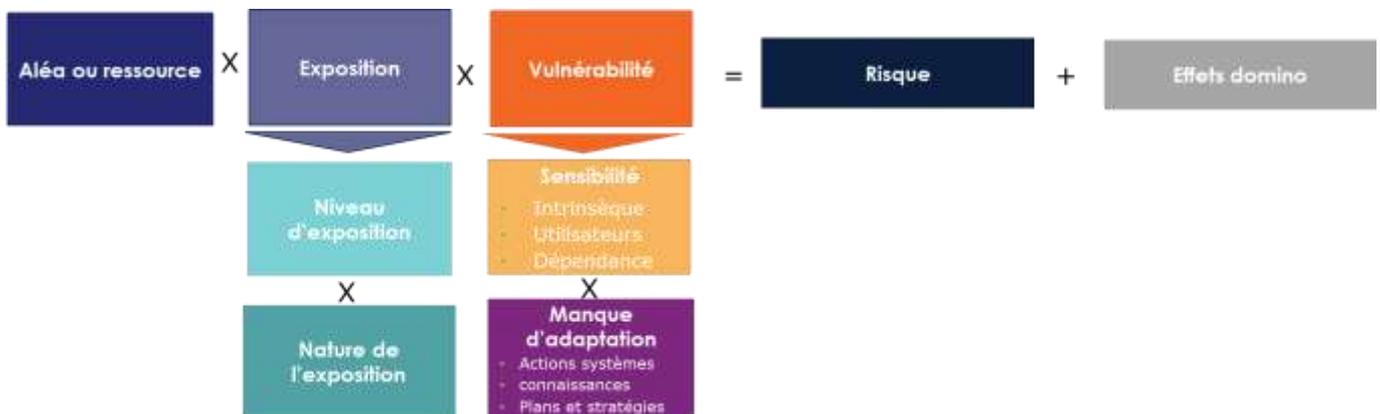
### 3. PRÉSENTATION DE L'INDICE 2020 ET DE LA LOGIQUE D'ACTUALISATION

#### 3.1 Description de l'indice de risque

L'indice de risque doit mettre en exergue des priorités en matière d'adaptation. La méthode proposée reprend ainsi les grands objectifs de l'exercice précédent. Elle doit permettre d'appréhender (1) les principaux risques face aux changements climatiques et à la raréfaction des ressources pesant sur un système donné et pour un aléa ou une ressource donnée (2), les systèmes particulièrement à risque.

La formule proposée s'aligne donc au cadre conceptuel de l'analyse de risques, en adéquation avec les évolutions proposées par le 5<sup>ème</sup> rapport d'évaluation du GIEC. On ajoute en deuxième lecture une note de risque couplée à des effets dominos.

Figure 6 : Formule d'analyse du risque pour l'actualisation du diagnostic territorial de Paris



La moyenne géométrique a donc été retenue pour le calcul du risque (voir section précédente).

$$\text{Risque} = \sqrt[3]{\text{Aléa} * \text{Exposition} * \text{Vulnérabilité}}$$

On retient la formule suivante pour la notation du risque incluant une part additionnelle d'effets dominos.

$$\text{Risque et effets dominos} = \sqrt[3]{\text{Aléa} * \text{Exposition} * \text{Vulnérabilité}} + \text{effets dominos}$$

La formule globale est décomposée en composantes de risque (ex : exposition) et sous composantes (ex : niveau d'exposition). Elle est appliquée pour chaque système (ex : cadre du bâti et espace public) et pour l'ensemble des aléas (canicule, tempête etc.) et ressources (ressources en eau, énergie etc.) via un outil Excel (voir section suivante).

**Les définitions des composantes** sont donc alignées au cadre conceptuel en vigueur (GIEC, méthodologie de gestion de réduction des risques de catastrophes etc.) puis traduites de manière opérationnelle et simplifiée pour les besoins de l'exercice :

- **Le risque** est l'ensemble des conséquences liées au climat (phénomènes ou impacts physiques) ou à la raréfaction de la ressource sur les systèmes considérés. Le niveau de risque dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme du changement climatique ou de la raréfaction des ressources auxquels un système est exposé, ainsi que de sa vulnérabilité (sensibilité et capacité d'adaptation).
- **L'aléa (ou la ressource)** indique la probabilité d'occurrence d'un phénomène direct (ex : fortes pluies) ou d'un impact physique (ex : inondation) ou bien encore, pour les besoins de l'exercice, de la probabilité de raréfaction de la ressource.
- **L'exposition** permet d'analyser si le système considéré est susceptible d'être touché par cet aléa ou cette raréfaction et donc de subir des dommages (présence de personnes, de moyens de subsistances, de fonctions ressources, d'éléments d'infrastructures etc.). Elle est fonction du niveau d'exposition (ampleur, degré) et de sa nature (niveau de criticité).
- **La vulnérabilité** : il s'agit de la propension ou de la prédisposition du système à subir des dommages. La vulnérabilité résulte de la sensibilité directe ou indirecte du système face à l'aléa ou la ressource considérée et de l'incapacité de faire face et de s'adapter.
- **Effets domino** : effets en chaîne d'un système à l'autre, suite à un impact.

### 3.2 Notation de la composante « Aléas et Ressources »

La notation de cette composante reste fixe, la manifestation de l'aléa climatique ou de la raréfaction de la ressource sur le territoire étant la même quel que soit le système considéré (hors systèmes à forte composante transnationale comme celui des migrations climatiques).

Pour rappel, **l'aléa (ou la ressource)** indique la probabilité d'occurrence d'un phénomène direct (ex : fortes pluies) ou d'un impact physique (ex : inondation) ou bien encore, pour les besoins de l'exercice, de la probabilité de raréfaction de la ressource. Outre leur occurrence, les dangers se caractérisent par leur intensité, leur localisation spatiale, la durée de l'impact et leur degré de soudaineté<sup>11</sup>.

Cette notation a été sensiblement modifiée comparativement à l'exercice précédent de 2012. L'ancienne note dite « d'occurrence » prenait en compte l'évolution de la fréquence des événements futurs par rapport à la période de référence 1971-2000. Cet exercice entend proposer deux notes permettant de mieux caractériser les évolutions passées et à venir :

- **Une note historique** dite de référence permettant d'apprécier les évolutions passées jusqu'à une période récente (2010-2020), à partir des séries d'observations disponibles depuis 1885 (Station Paris Montsouris) pour les données climatiques. Cette note prend en compte l'évolution du signal passé mais aussi **l'intensité spatio-temporelle** de l'aléa considéré.  
Pour les ressources, il s'agit d'apprécier l'évolution passée de la disponibilité de la ressource ainsi que la pression additionnelle du changement climatique.
- **Une note future à 2050** permettant d'apprécier la variation projetée en termes de fréquence et d'intensité de l'aléa ou de disponibilité de la ressource, selon un scénario de référence dit tendanciel.

<sup>11</sup> ADEME, 2012 : Diagnostic de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique. Eléments méthodologiques tirés de l'expérience internationale.

**Les notations** des aléas climatiques et des ressources ont été réalisées à partir de l'actualisation des projections climatiques ainsi que de l'analyse de travaux complémentaires de prospective et de recherche, parus depuis 2012.

Les projections dernière génération réalisées dans le cadre de la présente étude sont disponibles dans le cahier 2 de même que la documentation et la notation actualisée des aléas.

L'actualisation des ressources et leur notation sont disponibles dans le cahier 3.

**Pour le système « migrations climatiques »**, qui met en évidence des dimensions transfrontalières, aussi bien à l'échelle de la France (migrations internes) qu'à l'échelle mondiale, une notation spécifique est réalisée pour la composante « aléas et ressources ». Cela permet d'identifier les principaux drivers externes responsables des migrations, les aléas et ressources locales n'ayant que peu de sens pour l'analyse.

**Pour les systèmes interconnectés** (exemple du réseau électrique) ou à forte dimension internationale (ex : tourisme), il a été décidé que les notes d'aléas et de ressources pour Paris pouvaient s'appliquer à une échelle plus large (canicule, inondations par crue, tempête, raréfaction des ressources notamment) et donc servir pour l'étude des impacts indirects.

### 3.3 Notation de la composante « Exposition »

Pour rappel, l'exposition permet d'analyser si le système considéré est susceptible d'être touché par un aléa ou une raréfaction de ressource et donc de subir des dommages (présence de personnes, de moyens de subsistances, de fonctions ressources, d'éléments d'infrastructures etc.).

Cette notation est fonction de deux sous-composantes :

- **Le niveau d'exposition** (appelé dans l'étude de 2012 « surface de contact »). Il permet d'évaluer l'ampleur du système qui peut être concerné par l'aléa ou la ressource (tout ou partie du système sur le territoire parisien). Il s'agit de visualiser l'étendue de l'exposition du système.
- **La nature de l'exposition** (anciennement appelé « fonctionnalité »). Elle permet d'évaluer la nature des composantes atteintes (structurelles ou secondaires). Cette évaluation renseigne sur le niveau de criticité des composantes concernées.

La note maximale pour la composante et ses sous-composantes est de 5. La note d'exposition est obtenue par une moyenne géométrique des deux sous-composantes niveau et nature de l'exposition. La formule de calcul de l'exposition est donc la suivante :

$$\text{Exposition} = \sqrt[2]{\text{Niveau d'exposition} * \text{Nature d'exposition}}$$

La grille de notation retenue est présentée ci-dessous.

**Figure 7 : Critères de notation de l'exposition d'un système par rapport à un aléa ou une ressource**

<b>Composante niveau d'exposition</b>	0	Système non concerné (cette note annule le risque total)
	1	Des éléments très localisés sont géographiquement concernés par l'aléa / la ressource
	2	Une partie continue du système mais de surface peu importante est exposée à l'aléa/la ressource
	3	Une partie importante du système est exposée à l'aléa/la ressource
	4	La majeure partie du système est exposée, à l'aléa / la ressource
	5	La totalité du système est exposée à l'aléa / la ressource
<b>Composante nature de l'exposition</b>	1	Quelques éléments secondaires exposés
	2	Une grande partie des éléments secondaires exposés
	3	Quelques éléments structurels exposés
	4	Une grande partie des éléments structurels exposés
	5	La totalité des éléments est exposée

### 3.4 Notation de la composante « Vulnérabilité »

Pour rappel la vulnérabilité renseigne sur la propension ou la prédisposition du système à subir des dommages. La vulnérabilité résulte de la sensibilité directe ou indirecte du système face à l'aléa ou la ressource considérée et de l'incapacité de faire face et de s'adapter.

La **sensibilité** détermine le degré d'affectation positive ou négative d'un système par une exposition donnée au changement climatique ou à la raréfaction d'une ressource. La sensibilité est aussi constituée de trois sous composantes à savoir :

- La **sensibilité intrinsèque** qui rend compte des caractéristiques du système expliquant comment il est susceptible de réagir, positivement ou négativement, vis-à-vis de l'aléa ou de la raréfaction de ressource. Ce terme recoupe un ensemble de sensibilités techniques, environnementales et économiques<sup>12</sup>.
- La **sensibilité utilisateurs** qui vise à mettre en exergue les facteurs de sensibilité sociale. Ce terme recouvre la sensibilité des usagers du système face à l'aléa ou à la raréfaction de la ressource considéré(e), et intègre notamment les enjeux de santé publique, précarité économique, continuité et qualité de service.
- La **dépendance** permet de rendre compte du degré de vulnérabilité aux impacts indirects (sur d'autres systèmes ou sur un maillon clé du système hors territoire) par rapport à l'aléa ou à la ressource considéré(e).

La question des impacts indirects sur d'autres territoires, menaçant potentiellement l'intégrité d'un système du territoire parisien, est une nouvelle dimension abordée dans l'exercice de notation de la sensibilité. On tente de donner la juste place à ces impacts en attribuant un poids à la mesure de la dépendance.

La note maximale pour la composante et ses sous-composantes est de 5. La note d'exposition est obtenue par une moyenne géométrique des trois-sous composantes sensibilité intrinsèque, sensibilité utilisateurs et dépendance. La formule de calcul de la sensibilité est donc est la suivante :

$$\text{Sensibilité} = \sqrt[3]{\text{Sensibilité intrinsèque} * \text{Sensibilité utilisateurs} * \text{Dépendance}}$$

La grille de notation retenue est présentée ci-dessous.

<sup>12</sup> Dont : résistance des matières et matériaux, configuration technique, qualité environnementale du milieu (pollutions etc.), stabilité du système en fonction des conditions biologiques, prise en compte du mix des composantes minérale, végétale et aquatique, construction de la structure de coûts, degré de diversification des activités, zone d'influence (locale, globale)

Figure 8 : Critères de notation de la sensibilité

Note de sensibilité		
<b>Composantes techniques, économiques et environnementales</b> = sensibilité intrinsèque	1	Aucune ou très faible sensibilité technique, économique ou environnementale négative particulière, pas de perturbation possible du fonctionnement du système et/ou présence de sensibilité(s) positive(s) prépondérante(s)
	2	Sensibilité faible - Une ou plusieurs sensibilité(s) technique(s), économique(s) ou environnementale(s) est/sont jugée(s) suffisamment peu préoccupantes pour altérer le fonctionnement du système durablement
	3	Sensibilité moyenne - Une ou plusieurs sensibilité(s) technique(s), économique(s) ou environnementale(s) est/sont jugée(s) suffisamment préoccupantes pour altérer le fonctionnement du système durablement
	4	Sensibilité forte - Une ou plusieurs sensibilité(s) technique(s), économique(s) ou environnementale(s) est/sont jugée(s) très préoccupantes pour altérer le fonctionnement du système durablement
	5	Sensibilité critique - Un risque vital pour le système / destruction possible
<b>Composante sociale</b> = sensibilité utilisateurs	1	Aucune ou sensibilité très faible - Identification d'impacts très faibles pour la population ou une partie de la population (personnes vulnérables) dépendante du système, sans risque vital
	2	Sensibilité faible - Identification d'impacts faibles pour la population ou une partie de la population (personnes vulnérables) dépendante du système, sans risque vital
	3	Sensibilité moyenne - Identification d'impacts moyens pour la population ou une partie de la population (personnes vulnérables) dépendante du système, sans risque vital
	4	Sensibilité forte - Une ou plusieurs sensibilité(s) technique(s), économique(s) ou environnementale(s) est/sont jugée(s) suffisamment préoccupantes pour altérer le fonctionnement du système durablement
	5	Sensibilité critique - Identification d'un risque vital pour la population ou une partie de la population (personnes vulnérables) dépendante du système
<b>Composante dépendance aux autres systèmes, ressources et territoires</b>	1	Le système est très faiblement dépendant des autres systèmes, ressources ou des autres territoires
	2	Le système est faiblement dépendant des autres systèmes, ressources ou des autres territoires
	3	Le système est moyennement dépendant des autres systèmes, ressources ou des autres territoires
	4	Le système est fortement dépendant des autres systèmes, ressources ou des autres territoires
	5	Le système est très fortement dépendant des autres systèmes, ressources ou des autres territoires

**Le manque de capacité d'adaptation** évalue l'incapacité du système à faire face ou à s'adapter à l'aléa ou la raréfaction de ressource. La capacité d'adaptation comprend à la fois la flexibilité du système face aux aléas et ressources, et l'état de prise de conscience institutionnelle des événements en termes de retours d'expérience, de sensibilisation, d'anticipation, de définition de plans et stratégies, etc.

On s'intéresse ici à la capacité d'adaptation déjà en place ou en passe de l'être. Par ailleurs, pour cette analyse et comme dans le cadre de l'exercice précédent, seuls les moyens mis en œuvre sont jugés et non pas leur efficacité.

Pour affiner l'analyse de la capacité plusieurs prismes sont approchés :

- Le prisme **territoire** : PCAET, Stratégie résilience, Plan Pluies etc. ;
- Le prisme **gestion des risques et des ressources** : plan d'adaptation (ex : Bassin Seine Normandie), gestion de crise (Préfecture de police de Paris etc.) ;
- Le prisme **opérateurs des systèmes** : actions techniques, plan de gestion de crise interne etc. ;
- Le **prisme connaissance** : étude en cours (gestion ressource en eau, nappes souterraines etc.), étude OCDE.

Le cadre de notation de 2012 reste inchangé.

La note maximale est de 5 pour cette composante, l'échelle est ici identique à celle de l'exercice de 2012 ( [Figure 9](#) ). La grille de notation retenue est présentée ci-dessous.

Figure 9 : Critères de notation de la sensibilité

Note de capacité d'adaptation		
<b>Manque de capacité d'adaptation</b>	1	Mise en œuvre et évaluation d'actions ciblées dans le cadre d'une politique d'adaptation des pratiques face aux changements du climat ou à la raréfaction de la ressource
	2	Définition d'une stratégie cohérente visant à comprendre, anticiper et planifier la réponse face aux impacts du changement climatique ou à la raréfaction de la ressource (démarche proactive)
	3	Définition d'une première stratégie en réaction des impacts identifiés face à l'aléa ou à la raréfaction de la ressource (démarche réactive)
	4	Etude des impacts possibles du changement climatique et/ou de la raréfaction de la ressource
	5	Pas d'appréhension des impacts potentiels du changement climatique et/ou de la raréfaction de la ressource par les acteurs du système sur le territoire parisien

### 3.5 Notation de la composante « Effets domino »

Pour rappel, les effets domino représentent les effets en chaîne d'un système à l'autre à la suite d'un impact. L'objectif est d'identifier les effets en chaîne causés par le système lorsqu'il est exposé à un aléa ou à une raréfaction de ressource donné(e). Plus l'effet d'amplification est élevé, c'est-à-dire plus l'onde de choc se propage loin et fortement à partir du système touché, plus la note donnée est importante.

Pour identifier les effets domino, un schéma fonctionnel des interactions des systèmes et ressources de la ville de Paris a été établi en 2012<sup>13</sup> (Rapport de phase 2), qui matérialise les relations entre systèmes. Cette représentation permet d'identifier les systèmes susceptibles de causer les effets d'amplification les plus importants du fait de leurs liens structurels avec d'autres systèmes.

L'exercice 2020 n'entend pas remettre fondamentalement en cause cette notation. Toutefois certaines modifications sont apportées à la grille de notation :

- Ajout de la ressource « Air » et des système sous-sols et grands événements ;
- Les systèmes « parcs, jardins, bois et cimetières » ainsi que « sous-sols » deviennent des systèmes considérés comme générateur d'effets dominos importants car essentiels au bon fonctionnement d'un territoire au regard des services écosystémiques apportés (le premier était considéré auparavant comme un système subissant principalement les effets des autres systèmes) ;
- Révision partielle de notes majorant la note de groupe par défaut (cases grisées).

Quatre groupes sont donc distingués :

- Le groupe 1, subit principalement les effets domino des autres systèmes. **Note d'effets domino par défaut : 1**
- Le groupe 2, qui génère peu d'effets domino. **Note d'effets domino par défaut : 2**
- Le groupe 3, générateur d'importants effets domino. Il s'agit des réseaux (énergie, eau, assainissement, télécommunications, parcs et jardins ainsi que sous-sols) qui assurent des fonctions essentielles du territoire. **Note d'effets domino par défaut : 3**
- Le groupe 4, générateur du maximum d'effets domino. Il s'agit du système « réseau électrique », qui sous-tend l'intégralité du fonctionnement du territoire parisien. C'est le système avec le plus d'interactions et dont dépendent la totalité des autres systèmes, lui est donc attribué un statut particulier. **Note d'effets dominos par défaut : 4**

Pour certains aléas, ces notes gagnent un point du fait d'un effet cascade accru (cases grisées).

La nature des aléas va également influencer l'ampleur des effets dominos. Un phénomène comme une inondation de type 1910 ou une canicule qui peut perturber une large part du système « réseau électricité » est susceptible de générer plus d'effets en chaîne qu'un

<sup>13</sup> Ville de Paris, 2012 : Diagnostic de vulnérabilités et de robustesse de Paris face aux changements climatiques et à la raréfaction des ressources, rapport de phase 2.

phénomène comme les pluies intenses qui peuvent provoquer des perturbations localisées. Pour en rendre compte, il a été retenu de majorer les notes d'effets domino de 1 lorsque l'aléa considéré pouvait avoir un impact systémique.

**Figure 10 : Critères de notation des effets domino des systèmes. Pour certains aléas, ces notes gagnent un point du fait d'un effet cascade accru (cases grisées).**

	Notation par défaut (groupe)	Ressource en énergie	Ressource en eau	Ressource en alimentation	Ressource en biodiversité	Ressource en air	Températures moyennes	Précipitations moyennes	Sécheresse des sols	Canicule	Grand froid	Chutes de neige et verglas	Fortes pluies	Inondation	Tempête	Mouvement de terrain
Réseau électrique	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5	4
Réseau de gaz	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3
Réseau de chaleur	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3
Réseau de froid	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3
Service eau potable	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
Service assainissement et gestion EP	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3
Gestion de l'eau non potable	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
Gestion des déchets	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1
Cadre bâti et espace public	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
Parcs, jardins, bois et cimetières	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	2
Transports et mobilité	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	3
Télécommunications	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3
Santé publique	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Système assurantiel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2
Tissu économique, filières et emplois	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Tourisme et Patrimoine culturel	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Modes de vie et loisirs	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Migrations climatiques	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grands événements	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Sous-sols	3	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4

### 3.6 Notation du risque historique et 2050

#### 3.6.1 Note de risque climatique et de raréfaction

Pour rappel, le risque est l'ensemble des conséquences liées au climat (phénomènes ou impacts physiques) ou à la raréfaction de la ressource sur les systèmes considérés. Le niveau de risque dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme du changement climatique ou de la raréfaction des ressources auxquels un système est exposé, ainsi que de sa vulnérabilité (sensibilité et capacité d'adaptation).

La moyenne géométrique des composantes Aléa, Exposition et Vulnérabilité permet d'attribuer automatiquement une note de risque entre 1 et 5 pour le système considéré et en fonction de chaque aléa et ressource. L'échelle de notation du risque est présentée ci-dessous.

1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Extrêmement faible	Très faible	Faible	Relativement modéré	Modéré	Relativement fort	Fort	Très fort	Critique

Cette note est attribuée pour le risque historique et une note future permettant d’apprécier uniquement l’évolution de la composante « aléa » ou « ressource ». Les facteurs « exposition » et vulnérabilité restent inchangés.

3.6.2 Note de risque avec effets domino

La note d’effets domino s’additionne à la note de risque. On obtient ainsi une note globale sur 10.

3.7 Présentation des résultats

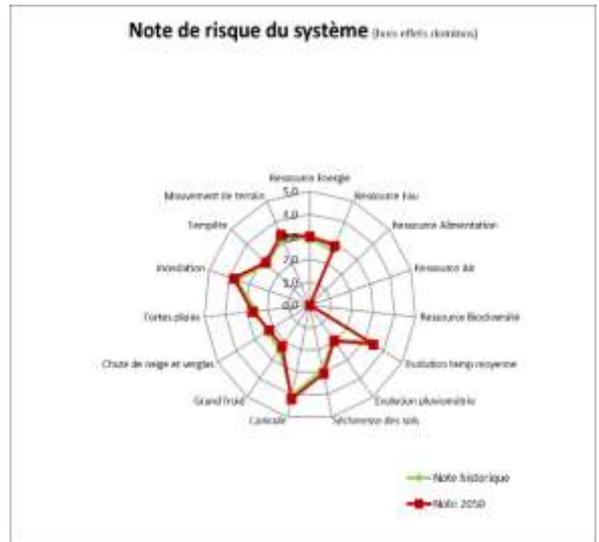
3.7.1 Les résultats par système et thématique

Les résultats sont ensuite analysés à l’aide de plusieurs représentations graphiques. Pour chacun des systèmes étudiés, sont mis à disposition :

- **Un tableau et un graphique radar** (Figure 11) représentant de manière différente la note de risque historique et future (2050), sur 5, par aléa et ressource.

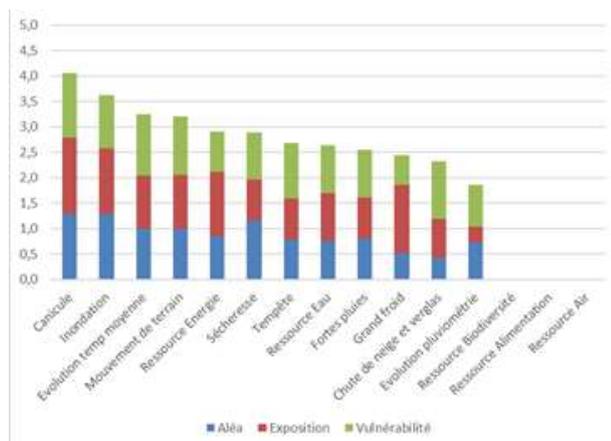
Figure 11 : Visualisation des risques (historique et 2050) pour un système donné et les aléas/ressources considérés

	Note de risque Historique (sur 5)	Note de risque (sur 5) 2050
Ressource Eau	3,5	3,8
Inondation	3,4	3,6
Canicule	3,4	3,6
Fortes pluies	3,2	3,4
Sécheresse	3,1	3,3
Ressource Energie	3,1	3,2
Evolution temp moyenne	3,1	3,2
Evolution pluviométrie	2,8	2,9
Mouvement de terrain	2,8	2,9
Grand froid	2,6	2,4
Tempête	2,4	2,5
Ressource Biodiversité	2,2	2,4
Chute de neige et verglas	1,7	1,6
Ressource Alimentation	0,0	0,0
Ressource Air	0,0	0,0



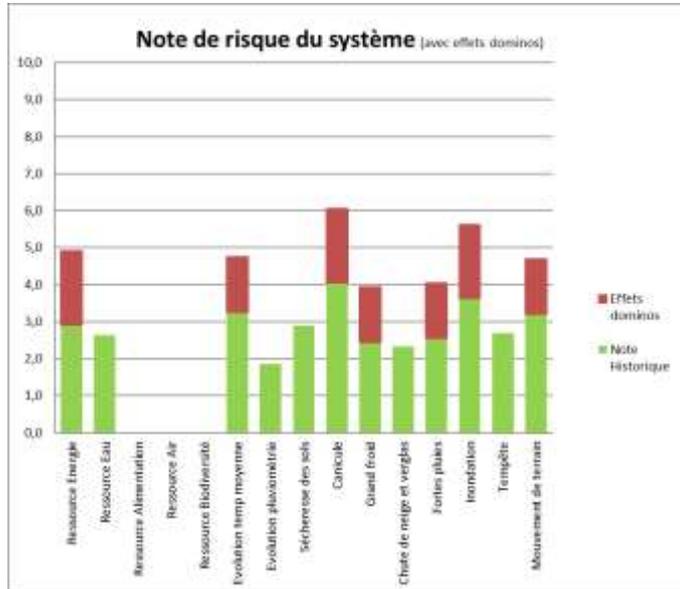
- **Un histogramme** présentant par ordre décroissant les risques historiques (sur 5) du système face aux aléas et ressources, avec prise en compte du poids des différents facteurs (exposition, sensibilité, manque d’adaptation).

Figure 12 : Part des composantes dans la note de risque



- Un histogramme incluant la note de risque avec effets dominos (sur 10) et permettant d’apprécier le risque total pesant in fine sur le système en cas de survenue d’un aléa et ou de la raréfaction.

Figure 13 : Note de risque incluant les effets domino



- **Un argumentaire sourcé** est proposé afin d’objectiver la note globale attribuée.

Enfin, les systèmes regroupés par thématique (ex : réseaux de distribution énergétique) font l’objet d’une synthèse spécifique

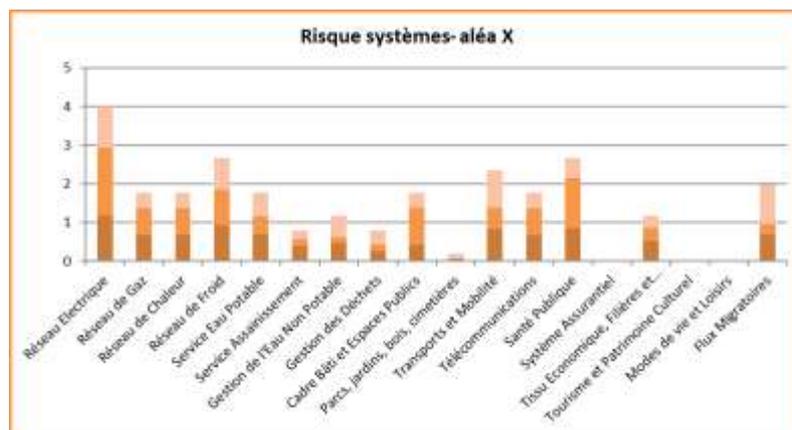
Pour chaque thématique (ex : réseau de distribution énergétique), une synthèse est proposée (principales évolutions depuis 2012).

3.7.2 Les résultats par aléa et ressource

Elle donne à voir dans un premier temps une vision des priorités par aléa et ressource avec :

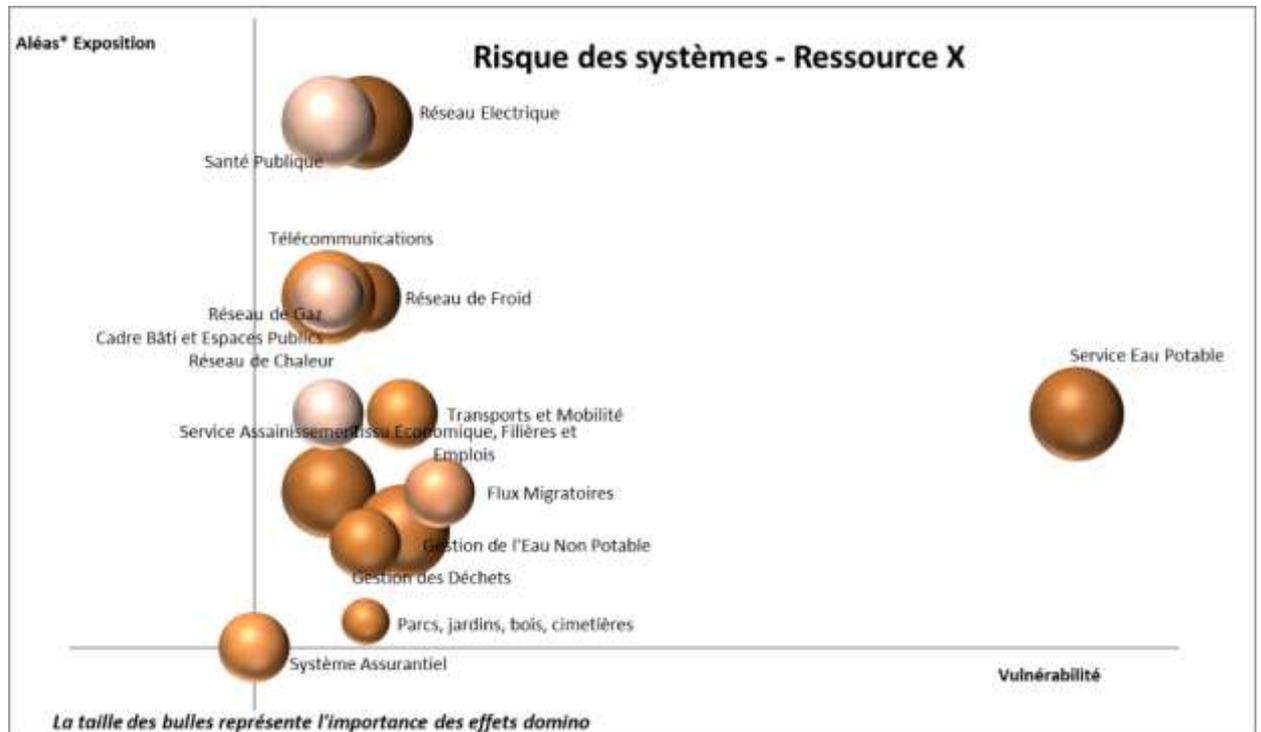
- **Un histogramme** présentant les notes de risques climatiques et de raréfaction pour chacun des systèmes, avec prise en compte du poids des facteurs exposition, sensibilité, manque d’adaptation.

Figure 14 : Comparaison du risque des systèmes par rapport à un aléa ou une ressource



- **Un graphique à bulles** permettant la visualisation de la position de l'ensemble des systèmes sur un cadran Exposition\*Aléa d'une part et vulnérabilité d'autre part permettant une approche de « clustering ». La taille des bulles correspond à l'ampleur des effets domino.

**Figure 15 : Risques des systèmes en fonction de l'exposition à l'aléa et de la vulnérabilité, pour un aléa ou une ressource donné(e)**



### 3.7.3 Une synthèse des enjeux prioritaires pour Paris

Cette section entend mettre en exergue les principaux enjeux identifiés quant aux évolutions de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation du territoire parisien depuis 2012.

### 3.7.4 Cadre de notation et de visualisation

Les matrices de notation Excel ont donc évolué pour prendre en compte les évolutions structurelles de l'exercice 2020. Toutefois, dans un souci de comparaison relative, il a été décidé de conserver sur le même support les notations et justification de 2012 ainsi que l'onglet « résultats 2012 » en plus du nouvel onglet « résultats 2020 ». Un extrait de la matrice est proposé ci-dessous (Figure 15). Les matrices systèmes sont disponibles en annexe du Cahier 4. La grille de référence de notation est disponible quant à elle en annexe 1.

Figure 16 : Extrait de la matrice système

EXPOSITION				ALEA									
RESSOURCE EN ENERGIE		Niveau d'exposition		Nature de l'exposition				Aléa					
Argumentaire	2012	Justification	2020	Argumentaire	2012	Justification	2020	Argumentaire	2012	Etat de référence	2020	Etat 2050	2020
Le système est faiblement concerné par la ressource (consommations énergétiques pour l'entretien des espaces verts)	1	Le système est faiblement concerné par la ressource (consommations énergétiques pour l'entretien des espaces verts)	2	L'entretien concerne les composantes structurelles du système (végétation...)	3	Seulement une partie des composantes secondaires est concernée	2	Prix des énergies en hausse Un recul possible de la consommation de ressources pétrolières et une augmentation possible de la consommation de gaz naturel et d'électricité à Paris Une plus grande fragilité de la production électrique en cas de sécheresse et hausse de la demande Hausse de la demande avec le projet Grand Paris au niveau de l'île de France (+3 300 MW ou +20% de consommation électrique)	2		2,6		2,9

RESSOURCE EN EAU

Niveau d'exposition	RESSOURCES EN ENERGIE											
Argumentaire	RESSOURCES EN EAU				RESSOURCES EN ENERGIE				RESSOURCES EN EAU			
Le système est entièrement dépendant de la ressource (eau essentielle au maintien des espaces verts)	2012	2020	Justification	2020	2012	2020	Justification	2020	2012	2020	Justification	2020

RESSOURCES EN EAU

Action sur le système		Politique de connaissances		Plan stratégique			
2012	2020	2012	2020	2012	2020	2052	2070

### 3.8 Logique d'actualisation

L'actualisation entend prendre en compte :

- Les apports de la précédente étude en matière d'analyse et de connaissance ;
- Les approfondissements (système assurantiel, migrations climatiques, grands événements) ;
- Les nouveaux éléments à disposition (travaux de recherche, plans, stratégies, cartographies etc.) permettant de mieux appréhender les ressources et aléas ainsi que l'exposition, la sensibilité ou la capacité d'adaptation des systèmes étudiés ;
- Les nouvelles connaissances produites dans le cadre de cette étude (en particulier les résultats des projections climatiques disponibles dans le rapport 2).

L'attribution des notes reste de nature qualitative puisqu'elle sollicite le jugement de plusieurs consultants du cabinet recruté. Toutefois, dans un souci d'objectivation, trois axes d'amélioration ont été proposés :

- La justification sourcée des notes ;
- Un travail d'harmonisation collectif entre consultants ;

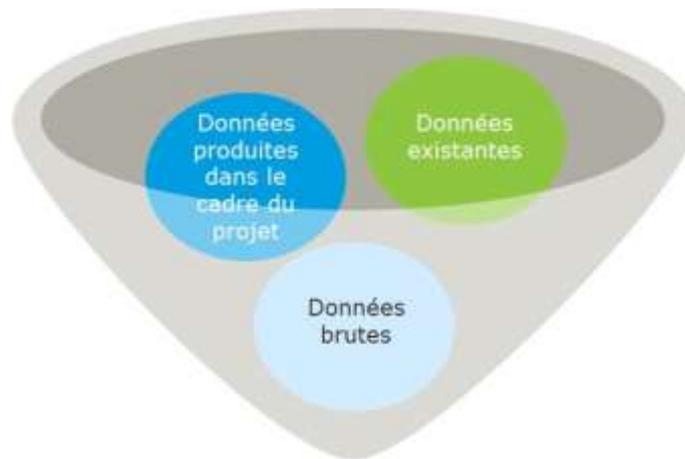
Une trentaine d'entretiens avec les services de la Ville et la mise à disposition de la première version des notes pour avis sur l'analyse. La liste des personnes interrogées est disponible en annexe du cahier 4.

## 4. GESTION DES DONNÉES ET GÉORÉFÉRENCEMENT

Les données répertoriées et créées pour la constitution des nouveaux indices de vulnérabilité serviront à la création d'un atlas cartographique de la vulnérabilité du territoire parisien (hors champ de la présente étude).

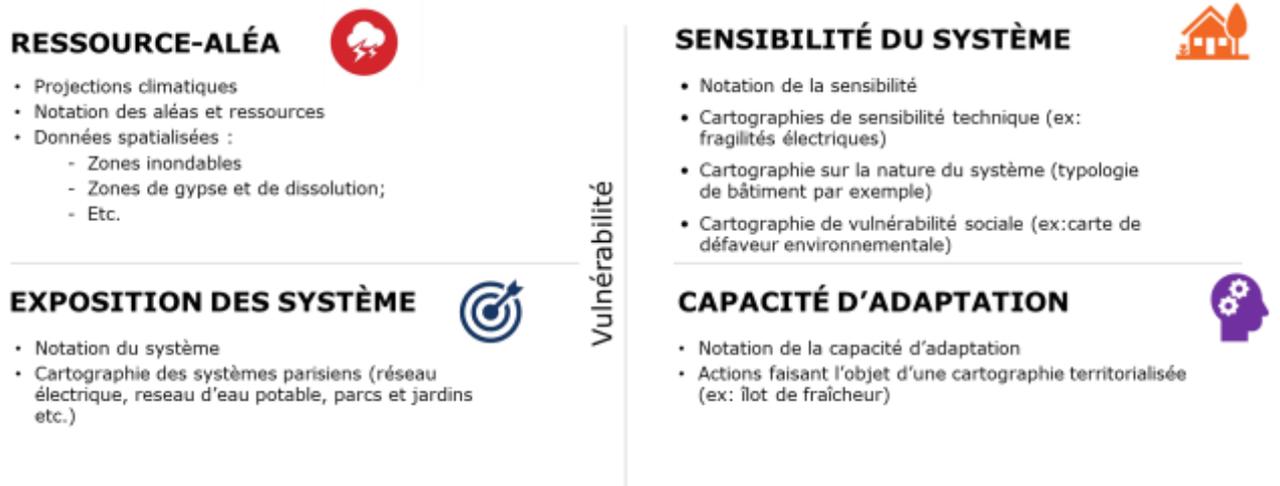
Au vu de sa préparation, un répertoire des données source (données d'entrée) et des données produites est fourni, dans la mesure du possible, dans un format compatible SIG.

Figure 17 : Principes du répertoire de données



Le répertoire des données est organisé par composante du risque :

Figure 18 : Principes de classement des données



## CONCLUSION

L'exercice d'actualisation a permis d'apporter des évolutions significatives au cadre méthodologique avec :

- Un alignement de la formule de l'indice aux rapports 5 et 6 du GIEC et une méthode de calcul appliquée par la communauté internationale ;
- L'inclusion de données dernière génération, notamment les projections climatiques CMIP6 (cahier 2) ;
- Des améliorations sensibles apportées à la définition puis à la notation des composantes et sous-composantes et la prise en compte de la spécificité de certains systèmes (ex : migrations climatiques) ;
- Un travail sur les visuels de restitution ;
- Un travail d'argumentation sourcée permettant d'objectiver les notes de risque ;
- La préparation de la territorialisation de l'exercice avec l'organisation des données produites et collectées.

Quelques pistes d'amélioration pourraient être envisagées :

- Une meilleure prise en considération des systèmes transnationaux, des impacts indirects mais aussi des chocs multiples et/ou successifs (chocs inondations/canicules par exemple) ;
- Une amélioration du module « capacité d'adaptation » permettant de mieux apprécier la robustesse effective des actions, plans et stratégies mises en place ;
- Un système de notation plus automatisé et objectivé.

## BIBLIOGRAPHIE

ADEME, 2012 : Diagnostic de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique  
Éléments méthodologiques tirés de l'expérience internationale

El-Zein, A., & Tonmoy, F. N., 2015: Assessment of vulnerability to climate change using a multi-criteria outranking approach with application to heat stress in Sydney. *Ecological Indicators*, 48, 207-217.

GIZ et EURAC 2017 : Guide complémentaire sur la vulnérabilité : le concept de risque. Lignes directrices sur l'utilisation de l'approche du Guide de référence sur la vulnérabilité en intégrant le nouveau concept de risque climatique de l'AR5 du GIEC. Bonn : GIZ.20  
[www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/02/GIZ\\_Risk-Supplement\\_French.pdf](http://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/02/GIZ_Risk-Supplement_French.pdf)

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

OCDE, 2008: Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Technical Report. (Guide pratique sur la construction d'indicateurs composites : méthodologie et guide de l'utilisateur. Rapport technique) Paris : Publication de l'OCDE.  
[www.oecd.org/std/42495745.pdf](http://www.oecd.org/std/42495745.pdf)

Simonet, C., 2012 : Changement climatique, chocs pluviométriques et sécurité alimentaire : essais sur l'usage de l'information climatique en économie du développement. *Economies et finances*. Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2012. Français. ffNNT : 2012CLF10392ff. fftel-01167548f  
[1http://hdr.undp.org/en/node/2550#:~:text=En%202010%2C%20on%20a%20introduit,bon%20r%C3%A9sultat%20dans%20une%20autre.](http://hdr.undp.org/en/node/2550#:~:text=En%202010%2C%20on%20a%20introduit,bon%20r%C3%A9sultat%20dans%20une%20autre.)

Ville de Paris, 2012 : Diagnostic de vulnérabilités et de robustesse de Paris face aux changements climatiques et à la raréfaction des ressources, rapports de phases 2 et 3.

## **ANNEXE 1**

### **GRILLE DE RÉFÉRENCE POUR LA NOTATION DES SYSTÈMES**