

## Directive inondation Cartographie des dommages



Inondations du 2 novembre 1839. — Vue prise le 2, à trois heures du soir. Sur les premiers plans, à droite, la Terrasse du Jardin de Ville; un peu plus loin, la Préfecture et l'Hôtel de Ville; au milieu, les maisons Perrard et Crozet; le quai Napoléon, qui borde ces maisons du côté de l'Isère, est recouvert jusque par-dessus les parapets, et on n'aperçoit plus que les candélabres du gaz. Sur la gauche, le quai planté de la Perrière, entièrement submergé aussi. Dans le fond, le pont Suspendu et l'entrée de la rue Saint-Laurent.

# Directive inondation

## Cartographie des dommages

**date** : 15 mai 2018

**auteur** : direction territoriale méditerranée

**responsable de l'étude** : Christophe Moulin

**relecture** : Sylvain Charaud, Reine Tarrit

**sous-traitants** : sans objet

**résumé de l'étude** :

Afin d'améliorer les cartes produites dans le cadre de la Directive Inondation, le Cerema propose une méthode se basant sur les surfaces inondables, sur les bases de données nationales (SIRENE, fichier foncier, registre parcellaire graphique) et sur les courbes de dommages développées dans le cadre de la méthode de l'analyse coût-bénéfice pour les projets de prévention des inondations.

Le territoire à risque important de Grenoble a été choisi pour tester et illustrer la méthode.

**zone géographique** : territoire national et territoire à risque important d'inondation de Grenoble

**nombre de pages** : 33

n° d'affaire : C16MR0061

maître d'ouvrage : DGPR

# SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>2 DONNÉES ET DOCUMENTS DISPONIBLES.....</b>	<b>5</b>
<b>3 SIMPLIFICATION DES COURBES DE DOMMAGES.....</b>	<b>6</b>
3.1 Agriculture.....	6
3.2 Logement.....	9
3.3 Activités.....	10
<b>4 APPLICATION AUX DONNÉES D'UN TRI.....</b>	<b>11</b>
4.1 Traitement des surfaces inondables.....	11
4.2 Traitement du registre parcellaire graphique.....	12
4.3 Traitement du fichier foncier.....	13
4.4 Traitement du fichier Sirene.....	15
4.5 Calcul des dommages.....	15
4.5.1 Calcul des dommages par scénario.....	15
4.5.2 Dommage moyen annuel.....	16
4.6 Représentation schématique des traitements réalisés.....	16
<b>5 CARTOGRAPHIE.....</b>	<b>18</b>
<b>6 INCERTITUDES ET POINTS D'ATTENTION.....</b>	<b>25</b>
6.1 Comparaison avec les résultats de l'analyse coût-bénéfice menée sur l'Isère amont.....	25
6.2 Étude de sensibilité.....	26
6.2.1 Influence de la hauteur d'eau.....	26
6.2.1.1 Influence de l'imprécision de la hauteur d'eau, connue par classes.....	26
6.2.1.2 Influence de l'absence de mise hors d'eau.....	27
6.2.2 Influence de la vitesse.....	29
<b>7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>31</b>
<b>8 BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>32</b>

# 1 Introduction

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Inondation de 2007, les services déconcentrés de l'État ont produit des cartographies pour les débordements de cours d'eau ou submersion marine pour les 122 TRI (territoires à risque important d'inondation) de France :

- surface inondables par scénario (fréquent, moyen, extrême) et par cours d'eau ;
- synthèse des surfaces inondables pour les scénarios ;
- risques.

L'ensemble était accompagné de tableaux d'estimation des populations et des emplois par commune et par scénario.

Compte tenu de la disponibilité récente de certaines données (notamment SIRENE de l'INSEE), et des méthodes de l'analyse coût-bénéfice, la question de compléter ces cartes par des données économiques se pose : peut-on établir des cartes de dommages pour chaque TRI ?

La présente étude tente de répondre en proposant des hypothèses et méthodes pour établir ce type de carte sur un TRI, en se basant sur un exemple, celui du TRI de Grenoble.

## 2 Données et documents disponibles

Des données nationales permettent une approche des enjeux présents sur un TRI :

- le **registre parcellaire graphique (RPG)**, qui représente par parcelle les types de cultures majoritaires, est désormais accessible par tous ; l'IGN assure sa diffusion et sa documentation gratuitement pour l'utilisateur ;
- le **répertoire SIRENE** de l'INSEE est disponible sur data.gouv.fr (portail officiel des données ouvertes) avec des mises à jours journalières ;
- le **fichier foncier** (appelé aussi Majic en référence au logiciel « Mise A Jour de l'Information Cadastre ») permet de situer des logements avec la précision de la parcelle ; il comporte aussi des données sur l'occupation des sols ; le fichier foncier est disponible et notamment utilisé par les DREAL, DDT-M et le Cerema.

Ainsi il est aujourd'hui possible de travailler sur les enjeux avec une approche transposable sur l'ensemble du territoire métropolitain (une analyse sur ce point devra être menée pour l'outre-mer pour établir quelles sont les données réellement accessibles).

Par ailleurs, la réalisation des travaux du premier cycle de mise en œuvre de la Directive Inondation a conduit à des **cartographies de surfaces inondables** présentant une certaine homogénéité, de par les consignes données par le ministère (circulaire « cartographie » de 2012), et de par l'existence d'un standard COVADIS<sup>1</sup> qui a normé les données.

Du côté des méthodes, un guide de l'analyse multicritères (AMC) dans le cadre des projets de prévention des inondations est paru en 2014, ainsi que des **courbes de dommages associées**. Ce guide est en cours d'actualisation, et un travail important a été effectué très récemment sur les dommages aux entreprises, aboutissant sur de nouvelles courbes de dommages.

Enfin, le territoire d'étude a fait l'objet d'une analyse coût-bénéfice pour des projets de protection sur l'Isère amont (vallée du Grésivaudan) [7].

---

<sup>1</sup>La COVADIS, Commission de validation des données pour l'information spatialisée est une commission interministérielle mise en place par les ministères en charge de l'environnement et de l'agriculture pour standardiser leurs données géographiques les plus fréquemment utilisées dans leurs métiers.

## 3 Simplification des courbes de dommages

Les courbes de dommages pour l'agriculture, le logement ou les entreprises ont été établies finement pour être appliquées dans le cadre des analyses coût-bénéfice des projets de protection des inondations (labellisations des programmes d'actions de prévention des inondations – PAPI). Ces courbes, pour être applicables ici, nécessitent un certain nombre de simplifications. En effet, à titre d'exemple, les hauteurs d'eau ne seront pas connues finement, mais par des tranches (entre 0 et 50 cm, de 50 cm à 1 m, de 1 à 2 m ...). Les paragraphes suivants détaillent les choix opérés et leur justification.

### 3.1 Agriculture

*« L'activité agricole est schématiquement représentée par le bâti, le matériel et les stocks agricoles, le bétail et les cultures. »*

Le guide AMC [1] propose des pistes de travail pour que localement, lorsque le bâti, le matériel, les stocks ou le bétail semble être un enjeu sur le territoire, on puisse calculer les dommages potentiels correspondant. Ces pistes sont délicates à mettre en œuvre, et seules les cultures font l'objet d'une méthode nationale stabilisée, issue du travail de l'IRSTEA [2].

Des courbes de dommages ont été établies pour 14 catégories de cultures.

*« Ces fonctions « moyennées » sont conçues pour être croisées avec les surfaces culturales données dans le Registre Parcellaire Graphique (RPG). Le RPG est un système d'information géographique permettant l'identification des parcelles agricoles en France. Il est mis à jour chaque année avec les dossiers de déclaration de surfaces adressés par les agriculteurs à l'administration. Il est important de noter, que le RPG n'est pas exhaustif en termes d'occupation du sol. En effet, seuls les agriculteurs bénéficiant d'aides agricoles déclarent leurs parcelles. Lors de l'utilisation de cette base de données pour l'occupation du sol agricole dans des régions où les cultures non aidées occupent une place importante (notamment la vigne), des précautions doivent être prises afin de s'assurer qu'un taux de couverture satisfaisant est obtenu avec le RPG. Pour cela, des experts des chambres d'agriculture peuvent être consultés. »*

Le registre parcellaire graphique (RPG) comporte des catégories non couvertes par les courbes du guide AMC. Des préconisations sont alors édictées.

Le tableau suivant liste les courbes retenues dans le cadre du présent travail.

Valeur	Libellé	Courbe de dommage proposée par le guide AMC	Courbe de dommage retenue
0	Pas d'information	Moyenne pondérée par les surfaces des autres courbes	Moyenne pondérée par les surfaces des autres courbes
1	Blé tendre	Courbe spécifique	Courbe spécifique
2	Maïs grain et ensilage	Courbe spécifique	Courbe spécifique
3	Orge	Courbe spécifique	Courbe spécifique
4	Autres céréales	Courbe spécifique	Courbe spécifique
5	Colza	Courbe spécifique	Courbe spécifique
6	Tournesol	Courbe spécifique	Courbe spécifique
7	Autres oléagineux	Courbe spécifique	Courbe spécifique
8	Protéagineux	Courbe du colza avec données agro-économiques appropriées	Courbe du colza
9	Plantes à fibres	Courbe du colza avec données agro-économiques appropriées	Courbe du colza

Valeur	Libellé	Courbe de dommage proposée par le guide AMC	Courbe de dommage retenue
10	Semences	Courbe du blé avec données agro-économiques appropriées	Courbe du blé
11	Gel (surfaces gelées sans production)	Pas de recommandations	Dommages nuls
12	Gel industriel	Pas de recommandations	Dommages nuls
13	Autres gels	Dommages nuls	Dommages nuls
14	Riz	Courbe du blé avec données agro-économiques appropriées	Courbe du blé
15	Légumineuses à grains	Courbe du colza avec données agro-économiques appropriées	Courbe du colza
16	Fourrage	Courbe spécifique	Courbe spécifique
17	Estives landes	Dommages nuls	Dommages nuls
18	Prairies permanentes	Courbe spécifique	Courbe spécifique
19	Prairies temporaires	Courbe spécifique	Courbe spécifique
20	Vergers	Courbe spécifique	Courbe spécifique
21	Vignes	Courbe spécifique	Courbe spécifique
22	Fruits à coque	Courbe du prunier avec données agro-économiques appropriées mais aucune courbe fournie pour le prunier	Courbe des vergers
23	Oliviers	Courbe du prunier avec données agro-économiques appropriées mais aucune courbe fournie pour le prunier	Courbe des vergers
24	Autres cultures industrielles	Courbe spécifique	Courbe spécifique
25	Légumes-fleurs	Courbe spécifique	Courbe spécifique
26	Cannes à sucre	Pas de recommandations	Pas de courbe à ce jour
27	Arboriculture	Courbe spécifique	Courbe spécifique
28	Divers	Moyenne pondérée par les surfaces des autres courbes	Moyenne pondérée par les surfaces des autres courbes

Outre la typologie des cultures, les données suivantes sont nécessaires en entrée pour calculer les dommages :

- la hauteur d'eau (avec un pas de 10 cm) ;
- la vitesse du courant (qui a un impact important sur le résultat) ;

Niveau de courant	Description	Vitesse
Faible	Pas d'érosion du sol. Pas d'arrachage de cultures lorsqu'elles sont déjà enracinées. Pas d'endommagement des équipements dans les parcelles. Eau peu chargée en débris.	0 à 0,5 $m.s^{-1}$
Moyen	Érosion superficielle du sol. Arrachage des cultures annuelles. Endommagement des équipements fragiles dans les parcelles. Eau chargée en petits et moyens débris.	0,5 à 1 $m.s^{-1}$
Fort	Érosion localement importante (ravines). Arrachage des cultures pérennes. Endommagements des équipements dans les parcelles. Eau chargée en moyens et gros débris.	1 à 2 $m.s^{-1}$

- la durée de submersion (classée en 4 catégories correspondant à un nombre de jours) ;

Classe de durée	Min (jour)	Max (jour)
courte	0	1
moyenne	2	4
longue	5	10
très longue	11	20

- la saison.

Classe de durée	Début (semaine)	Fin (semaine)
Printemps	14	26
Été	27	39
Automne	40	52
Hiver	1	13

L'ensemble de ces données d'entrée est prévu pour une analyse coût-bénéfice (ACB), dont la taille du territoire et le temps passé sont supposés permettre d'attribuer les bonnes conditions de hauteur d'eau, de vitesse, de saison et de durée.

Dans le cadre du présent travail, des hypothèses doivent être formulées ; elles concernent l'ensemble des points :

- hauteur d'eau : quelle valeur prendre en compte étant donné que d'une part on raisonne par tranche de hauteur (les cartographies établies dans le cadre de la directive sont normalisées en ce sens), et que d'autre part, la dernière tranche concerne des zones comportant 1 m ou plus d'eau ?
- vitesse de l'eau : n'ayant pas de données sur les vitesses locales, quelle vitesse de référence prendre ?
- durée de submersion : quelle classe retenir ?
- saison de la crue : prendre en compte la saisonnalité locale, ou au contraire, considérer une équiprobabilité d'évènements dans les saisons ?

Concernant la hauteur d'eau, il est proposé de simplement moyenner les valeurs de dommages pour les tranches de hauteurs d'eau : 0 à 0,5 m – 0,5 à 1 m – 1 à 2 m et plus de 2 m (les classes de hauteurs d'eau de plus de 2 m sont disponibles sur le TRI de Grenoble mais cela n'est peut-être pas vrai partout ; ce point devra être examiné lors d'un déploiement ultérieur). Une autre option aurait pu être de prendre les valeurs de dommages correspondant à 0,25 m, 0,75 m, 1,5 m et 2,5 m, mais ce choix peut entraîner des erreurs liées à la présence de seuils (augmentation importante des dommages à partir d'un certain niveau d'eau).

La vitesse de l'eau a un impact important sur le résultat. Il n'est donc pas pertinent de moyenner les dommages et ne pas prendre en compte ce paramètre. Pour autant, la modélisation de la vitesse, souvent contestable dans les études qui l'obtiennent, ne sera pas disponible dans le cadre des cartographies TRI. Il est donc proposé que ce paramètre soit une entrée par cours d'eau sur la base de l'appréciation locale pour l'ensemble du cours d'eau.

Concernant la durée de submersion, une évaluation locale basée sur la connaissance des évènements historiques paraît être possible au cas par cas, et renseignée pour chaque cours d'eau.

La saisonnalité des crues est plus difficile à appréhender mais, elle existe souvent. En l'absence

de données, une équiprobabilité sera retenue (moyenne des valeurs pour toutes les saisons).

Compte tenu de ces différents points, et pour coller aux cartographies dans le cadre de ce travail, les courbes de dommages ont été simplifiées sur le paramètre de la hauteur d'eau uniquement. Des classes ont été créées :

- hzi (hauteur nulle) ;
- 0 (0 à 0,5 m) ;
- 0.5 (0 à 1 m) ;
- 1 (1 à 2 m) ;
- 2 (plus de 2 m mais les courbes sont données jusqu'à 2,5 m).

## 3.2 Logement

Les courbes de dommages utilisées actuellement en France sont soit des courbes à l'unité (basées sur un nombre de logements), soit des courbes à la surface (basées sur un nombre de m<sup>2</sup>).

Dans les deux cas les entrées sont :

- la hauteur d'eau (tranches de 10 cm) ;
- la durée de submersion (inférieure à 48 h ou supérieure à 48 h) ;
- le type de logement (individuel sans étage / individuel avec étage / logement en collectif / sous-sol individuel / sous-sol d'un immeuble) pour le calcul des dommages au bâti et au mobilier (les 3 premières catégories sont alors utilisées) ;
- pour les dommages à la surface, la surface de logement, y compris la surface de garage attenant, doit être renseignée (cette hypothèse de garage attenant a été prise par le centre européen de prévention du risque inondation – CEPRI – dans la maquette utilisée pour l'établissement de la courbe).

Dans cette catégorie de dommages, l'inconnue principale est la durée de submersion, mais comme évoqué plus haut, la connaissance des crues historiques permet généralement de répondre à la question.

Comme pour le cas des courbes agricoles, les dommages au logement peuvent être moyennés par tranches de hauteurs d'eau : 0 à 0,5 m ; 0,5 à 1 m ; 1 à 2 m ; plus de 2 m.

Les valeurs obtenues sont les suivantes (en euros 2011).

hauteur min.	durée	dommage au bâti individuel sans étage	dommage au bâti individuel avec étage	dommage au bâti collectif	dommage au bâti individuel en sous-sol	dommage au bâti collectif en sous-sol	dommage au mobilier dans l'individuel sans étage	dommage au mobilier dans l'individuel avec étage	dommage au mobilier dans le collectif
0	< 48 h	80,1	48,6	65,7	0,9	72	92,7	78,3	77,4
0,5	< 48 h	99,8	63	85,6	1	80	145,6	127,8	124,4
1	< 48 h	136,9	121,6	122,1	1	80	189	169,2	162,8
2	< 48 h	213,8	208,6	164	7,3	80	194	177,6	166
0	> 48 h	108	84,6	97,2	0,9	77,4	115,2	100,8	98,1
0,5	> 48 h	133,2	101,2	117,6	1,6	86	159,8	141,4	136,6
1	> 48 h	177,5	199,1	152,9	2,8	86	191,7	170,9	163,8
2	> 48 h	271,2	284,1	190,5	9,3	86	195	177,6	166

### 3.3 Activités

Les courbes de dommages aux entreprises ont totalement été reconstruites récemment, suite à un travail mené par l'IRSTEA et le Cerema.

Le fichier qui va être fourni dans le cadre de l'actualisation de la méthode AMC fournit les informations suivantes :

- `batiment.surface` correspond au dommage au bâti par m<sup>2</sup> en fonction du code APE de l'activité, de la hauteur d'eau (tranches de 10 cm), de la durée de submersion (moins de 48 h, plus de 49 h) et de la salinité (fluvial ou marin) ;
- `equipement.stock.employe` correspond au dommage au mobilier et au stock sur la base du nombre d'employés et des variables évoquées précédemment (APE, hauteur d'eau, durée de submersion et salinité) ;
- `total.employe` correspond au dommage total (bâti + mobilier + stocks) sur la base du nombre d'employé dans le cas où il n'est pas possible d'obtenir la surface ; l'utilisation de ces données est toutefois déconseillée. Là encore les paramètres APE, hauteur, durée, salinité sont utilisés.

Comme pour le cas des courbes agricoles et des courbes au logement, les dommages aux activités ont été moyennés par tranches de hauteurs d'eau : 0 à 0,5 m ; 0,5 à 1 m ; 1 à 2 m ; plus de 2 m. La durée de submersion sera appréciée globalement pour chaque cours d'eau.

## 4 Application aux données d'un TRI

La DGPR a proposé 3 secteurs potentiels d'étude, dont le TRI de Grenoble, qui a été choisi par le Cerema.

### 4.1 Traitement des surfaces inondables

Les couches comportant les surfaces inondables ont été téléchargées depuis Carmen :

- Romanche (nom dans la base de donnée : si1) ;
- Fure (si2) ;
- Drac (si3) ;
- Isère amont (si4) ;
- Isère aval (si5).

Le rapport d'accompagnement [5] apporte des éléments sur la manière dont les études ont été réalisées. Il précise aussi le régime hydrologique des cours d'eau concernés : les crues sont issues de la fonte nivale (printemps) ou de pluies importantes (automne).

Si les crues fréquentes (au sens de la directive inondation, c'est-à-dire jusqu'à une période de retour de 30 ans) peuvent se produire indépendamment au printemps ou en automne, les crues supérieures (moyennes ou exceptionnelles toujours au sens de la directive inondation, c'est-à-dire à partir d'une période de retour de 100 ans) se produisent majoritairement en automne. Les coefficients renseignés en première approche pour toutes les crues sont les suivants : 0,10 pour l'hiver, 0,40 pour le printemps, 0,10 pour l'été et 0,40 pour l'automne.

Bien que les attributs respectent le format COVADIS, une inspection des données montre qu'elles comportent des erreurs de géométries pouvant gêner les traitements.

Par ailleurs il convient de noter une hétérogénéité dans les attributs : sur le type (parfois de type caractère, parfois de type numérique), mais aussi sur la nature (sur l'Isère amont seul un aléa est disponible, prenant les valeurs 'faible', 'modere', 'fort').

Les classes de hauteurs d'eau rencontrées ici sont 0 à 0,5 m, 0,5 à 1 m, 1 à 2 m, plus de 2 m.

Il faut aussi noter que certains objets (lignes) peuvent comporter de nombreux polygones (multi polygones).

Ainsi des traitements préalables ont été effectués pour faciliter la suite :

- élimination des erreurs de géométries en nettoyant les tables en suivant les préconisations formulées dans le rapport du CP2I Ouest [4] ;
- décomposition en polygones simples en ne gardant que les attributs nécessaires ; pour l'Isère amont, il a été choisi d'affecter la tranche 0 à 0,5 m à l'aléa faible, 0,5 à 1 m à l'aléa moyen et la tranche 1 à 2 m à l'aléa fort.

Le résultat est une table par scénario et par cours d'eau, comportant des polygones simples, disposant des attributs id\_zone\_princ (identifiant de la zone inondable principale), id\_zone\_afflu (identifiant de l'affluent), ht\_min et ht\_max (classes 0-0,5 ; 0,5-1 ; 1-2 ; 2-10).

Il arrive que certains scénarios ne soient pas disponibles. Ce fut ici le cas pour le Drac, pour lequel le scénario fréquent n'est pas disponible. Le processus de calcul du dommage moyen annuel doit éventuellement en tenir compte. Ici il a été considéré que les dommages étaient nuls pour ce scénario (scénario de premiers dommages).

## 4.2 Traitement du registre parcellaire graphique

Le registre parcellaire graphique est désormais disponible en téléchargement sur le site de l'IGN, qui a élaboré des spécifications. La table a été importée depuis ce site.

Seules les données utiles ont été sélectionnées :

- seuls les polygones intersectant la zone inondable globale ont été gardés,
- un ratio entre la surface déclarée en culture majoritaire (attribut « surf\_cultu ») et la surface du polygone a été établi, avec un maximum de 1 pour limiter les erreurs ; ce ratio sera utilisé ensuite, car les polygones seront coupés par la zone inondable, et la proportion sera appliquée aux nouveaux polygones,
- le type de culture (« code\_cultu ») pour faire la jointure avec les courbes de dommages.

Pour l'îlot 901, la culture majoritaire déclarée est « Mais grain et ensilage » pour une surface « surf\_cultu » de 2,25 ha.

La surface totale calculée par le SIG est 2,396 ha.

Le ratio est donc  $2,25 / 2,396$  soit 0,94.

Lorsque les calculs seront menés sur la partie inondable, ce ratio sera appliqué à la surface inondable de la parcelle.

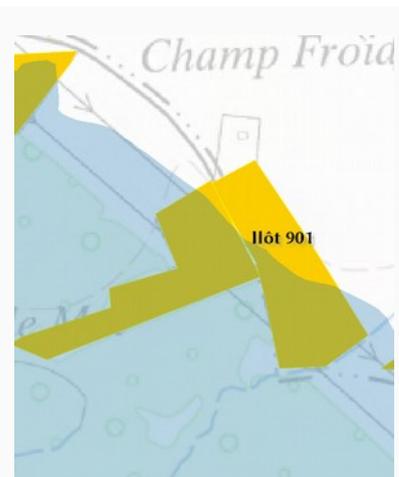


Illustration 1: Exemple de traitement de l'îlot 901

Il est possible d'utiliser le fichier foncier pour sélectionner les parcelles dont l'occupation principale est la vigne. En effet, ce type est a priori assez mal renseigné dans le RPG, alors que les dommages associés sont importants. Dans le cas du TRI de Grenoble, les parcelles supplémentaires étaient en nombre très réduit : la méthode n'a pas été appliquée jusqu'au bout dans cette première version.

Ces données ont ensuite été coupées par la zone inondable de manière à obtenir des polygones étant homogènes sur le plan de l'agriculture (un seul type d'occupation), et de l'inondation (une seule tranche de hauteur d'eau). Une table par scénario d'inondation a ainsi été constituée.

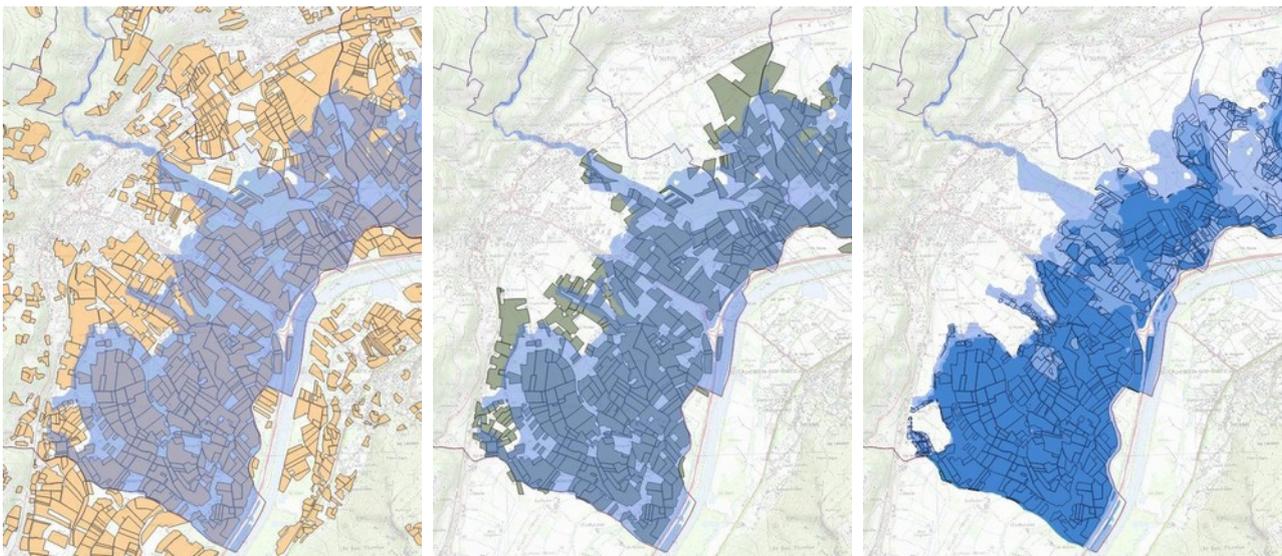


Illustration 2: Découpage du RPG

1 : RPG régional

2 : parcelles du RPG intersectant la surface inondable maximale

3 : découpe du RPG par une surface inondable pour un scénario : chaque polygone dispose alors des mêmes caractéristiques d'occupation et de hauteur d'eau.

Pour la crue moyenne, une hypothèse sur la durée a été formulée. En effet, une recherche rapide montre que la crue de juin 1948 a duré 2 jours. Par ailleurs, le rapport de l'ACB sur l'Isère amont évoque lui une durée de 1 jour pour les crues fréquentes.

Il est ainsi proposé de retenir une durée moyenne au sens des courbes de dommage agricole (2 à

4 jours), pour les crues moyennes et extrêmes, et une durée de 1 jour pour les crues fréquentes.

Ainsi en croisant pour chaque polygone, les données de hauteurs, de surface agricole, de type d'occupation, en prenant en compte une durée moyenne et une vitesse moyennée, il est possible d'affecter un dommage pour chaque parcelle du RPG découpée précédemment par les surfaces inondables.

### 4.3 Traitement du fichier foncier<sup>2</sup>

Un rapport du Cerema sur l'utilisation du fichier foncier dans le domaine des risques d'inondation en général et de l'analyse coût-bénéfice en particulier a été produit en 2016 [3].

Le Cerema propose une méthode qui permet, à partir du fichier foncier, d'obtenir les données d'entrée aux courbes de dommage, dont les différents points sont les suivants :

- calcul du nombre d'étages en fonction des logements les plus hauts (s'il y a un logement au 6<sup>e</sup> étage, c'est qu'il y a au moins 6 étages) ;
- détermination de la présence d'une cave pour les logements individuels ;
- détermination de la présence d'un sous-sol pour les logements collectifs ;
- détermination pour les logements individuels de la surface en rez-de-chaussée, en fonction du nombre de logements dans le bâtiment ;
- récupération des surfaces de garages attenants et des surfaces de logements.

L'ensemble des traitements est schématisé sur l'illustration 3.

---

<sup>2</sup>Note 2019 : le fichier foncier a été traité ici sur la base de travaux méthodologiques de 2016, réactualisés en 2019 à l'occasion de la production d'un fichier issu du fichier foncier et destiné à appliquer les courbes de dommages officielles. Il s'avère que des hypothèses formulées ici sont erronées : surfaces prises en compte pour le calcul des dommages dans les caves surévaluées, et surface de garage indûment prise en compte. Ces erreurs n'impactent a priori pas les résultats de manière significative.

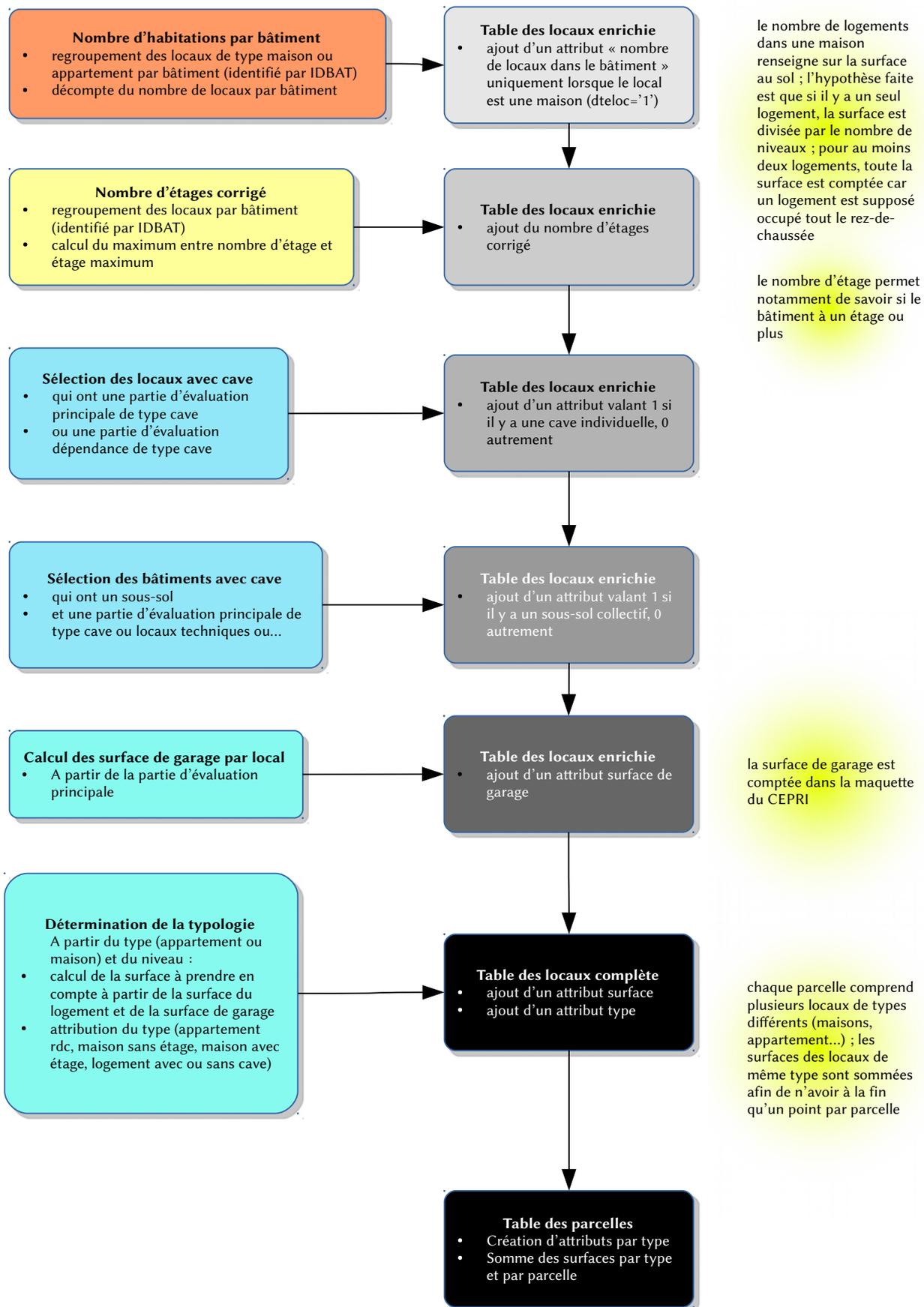


Illustration 3: Traitement préalable du fichier foncier

## 4.4 Traitement du fichier Sirene

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017, l'INSEE fournit quotidiennement les données du répertoire SIRENE sur le site [data.gouv.fr](http://data.gouv.fr). Cette base de donnée comprend des informations économiques et juridiques sur environ 10 millions d'établissements. En moyenne 10 000 modifications par jour sont enregistrées.

Les données figurant dans la base sont de trois ordres, pour les entreprises et leurs établissements :

- des données d'identification (numéro SIRET, nom, raison sociale, forme juridique, adresse) ;
- des données économiques (code d'activité principale APE, importance de l'effectif salarié par tranche, chiffre d'affaires) ;
- d'autres données (dates de création, de fermeture...).

La version figurant sur [data.gouv.fr](http://data.gouv.fr) a été géoréférencée, ce qui permet une utilisation directe dans un système d'information géographique.

Ont été utilisés :

- le code APET700 qui correspond au code NAF des courbes de dommages ;
- les fourchettes du nombre d'employés, auxquelles ont été ajouté 1 pour prendre en compte le directeur dans les petits établissements, ou le seul employé pour les micro-entreprises par exemple.

Pour l'application des courbes de dommages au bâti, le fichier foncier qui comporte les surfaces a été utilisé :

- pour chaque établissement SIRENE, il a été recherché dans un périmètre de 50 m les locaux du fichier foncier avec le même code APE : la valeur des surfaces correspondantes a été moyennée ;
- en cas d'absence, la recherche a été étendue à 300 m (dans le cas d'établissement référencé à la rue, cela permet parfois de retrouver les locaux correspondants),
- enfin, en dernier recours, la valeur de surface moyenne pour le code APE au niveau départemental a été retenue.

Le fichier des entreprises comporte ainsi :

- le numéro SIREN ;
- le code APET700 (ou NAF) ;
- une surface calculée d'après le fichier foncier ;
- une fourchette du nombre d'emploi afin d'en prendre la moyenne.

## 4.5 Calcul des dommages

### 4.5.1 Calcul des dommages par scénario

Chaque type d'enjeu (des surfaces pour l'agriculture, des points pour les logements et pour les emplois) a été affecté de ses caractéristiques d'aléa (tranche de hauteur d'eau, durée ; saison et vitesse pour l'agriculture).

Ainsi une table par enjeu et par scénario a été obtenue et les courbes de dommages leur ont été appliquées.

L'étape suivante a consisté à créer une grille de carrés de 100 m sur la surface inondable

maximale.

Ces carrés permettent de calculer des dommages totaux, en sommant les dommages ponctuels présents à l'intérieur, et en pro-ratisant les dommages surfaciques.

Il est proposé une représentation cartographique des dommages pour l'ensemble des scénarios fréquent, moyen et extrême, ce qui est un peu théorique mais pourrait être modifié. En effet, à titre d'exemple, lors d'une crue moyenne d'un cours d'eau, il est très improbable d'avoir une crue moyenne d'un affluent (la pratique est alors de considérer une crue fréquente).

#### 4.5.2 Dommage moyen annuel

Afin d'avoir une vision plus claire et intégrée des dommages, un dommage moyen annuel a été calculé en prenant :

- une fréquence décennale pour les scénarios fréquents (pondération 0,1) ;
- une fréquence centennale pour les scénarios moyens (pondération 0,01) ;
- une fréquence millénaire pour les scénarios extrêmes (pondération 0,001) ;
- en fermant la courbe par 1,5 fois les dommages extrêmes (hypothèse conventionnelle).

Ainsi le dommage moyen annuel peut être calculé par la formule :

$$DMA = \frac{1}{2}(1,5 D_{extr} + D_{extr})(0,001 - 0) + \frac{1}{2}(D_{extr} + D_{moy})(0,01 - 0,001) + \frac{1}{2}(D_{moy} + D_{freq})(0,1 - 0,01)$$

où  $D_{extr}$ ,  $D_{moy}$  et  $D_{freq}$  représentent respectivement les dommages extrêmes, moyens et fréquents.

Deux représentations sont proposées : une à l'échelle du TRI, l'autre à l'échelle du 1/50 000 autour de Grenoble.

De plus, une cartographie représentant l'origine majoritaire (entre agriculture, activités et logements) du dommage moyen annuel a également été réalisée.

#### 4.6 Représentation schématique des traitements réalisés

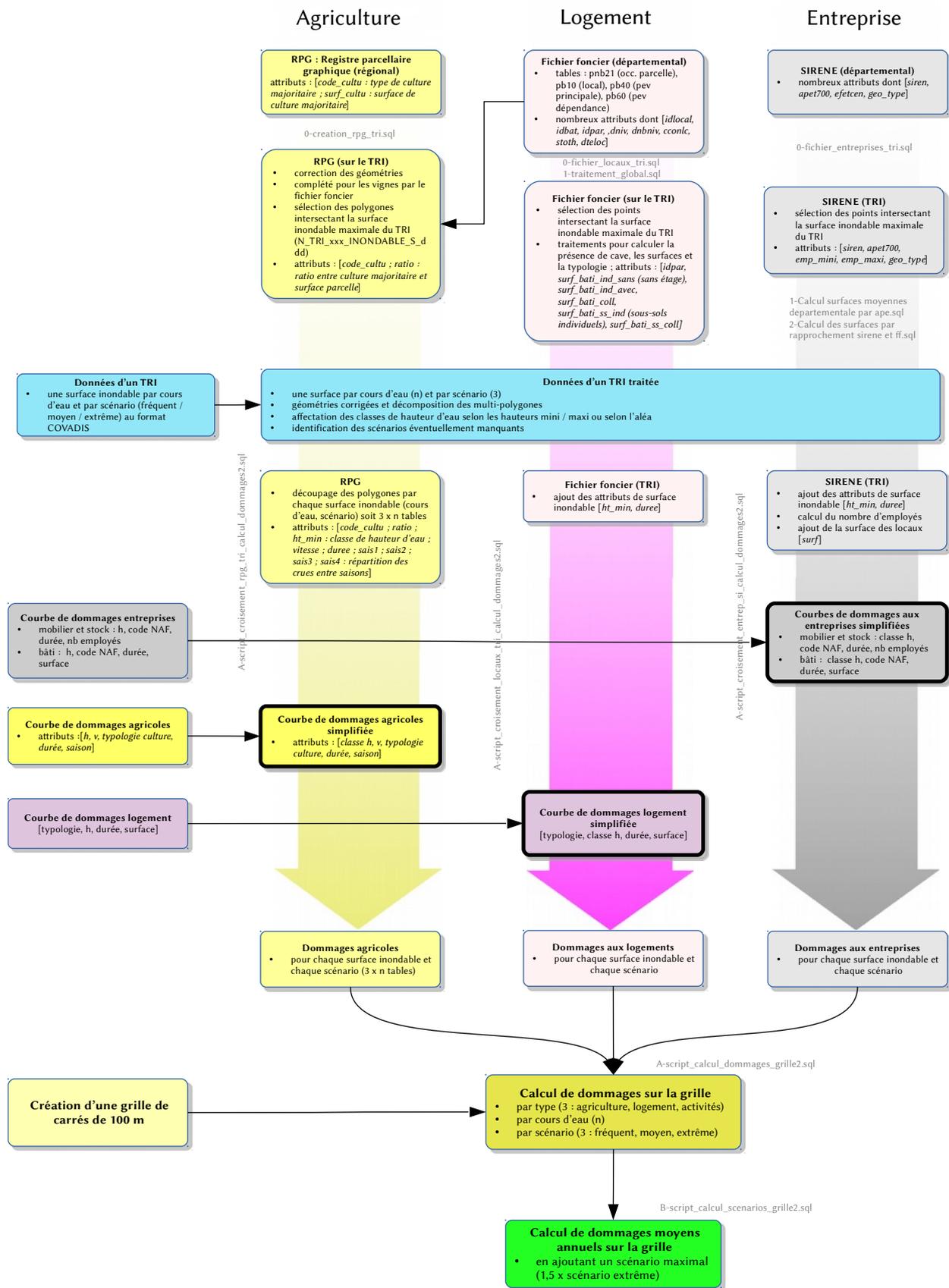


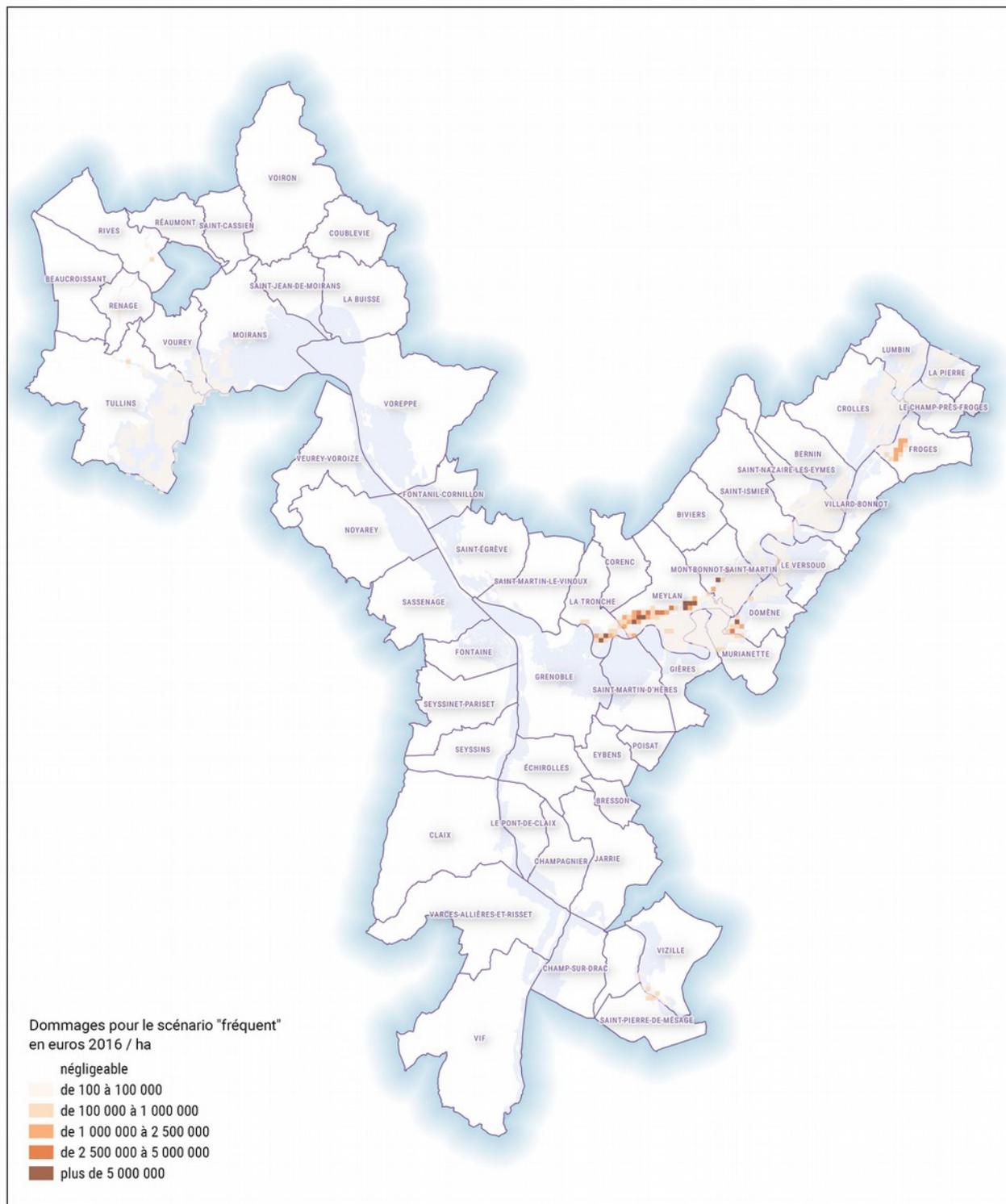
Illustration 4: Traitement des données depuis les sources jusqu'au calcul de grille

## 5 Cartographie

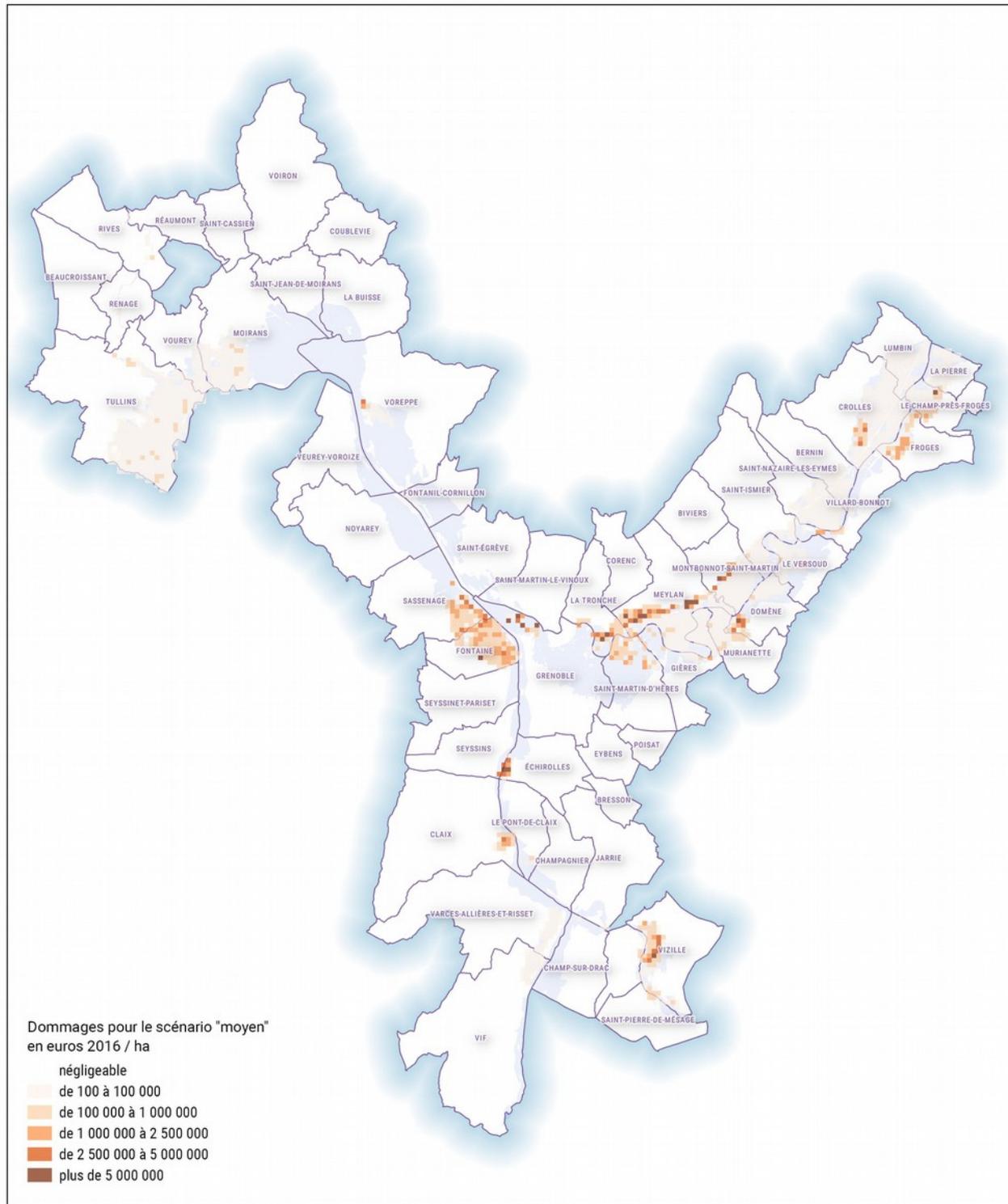
Étant donné l'unité de calcul (carreau de 100 m de côté), les cartographies sont majoritairement proposées au 1/150 000, sans fond de plan, et couvrent tout le TRI :

- dommages pour les scénarios fréquents ;
- dommages pour les scénarios moyens ;
- dommages pour les scénarios extrêmes ;
- dommage moyen annuel ;
- origine majoritaire (entre agriculture, entreprises, logements) des dommages moyens annuels.

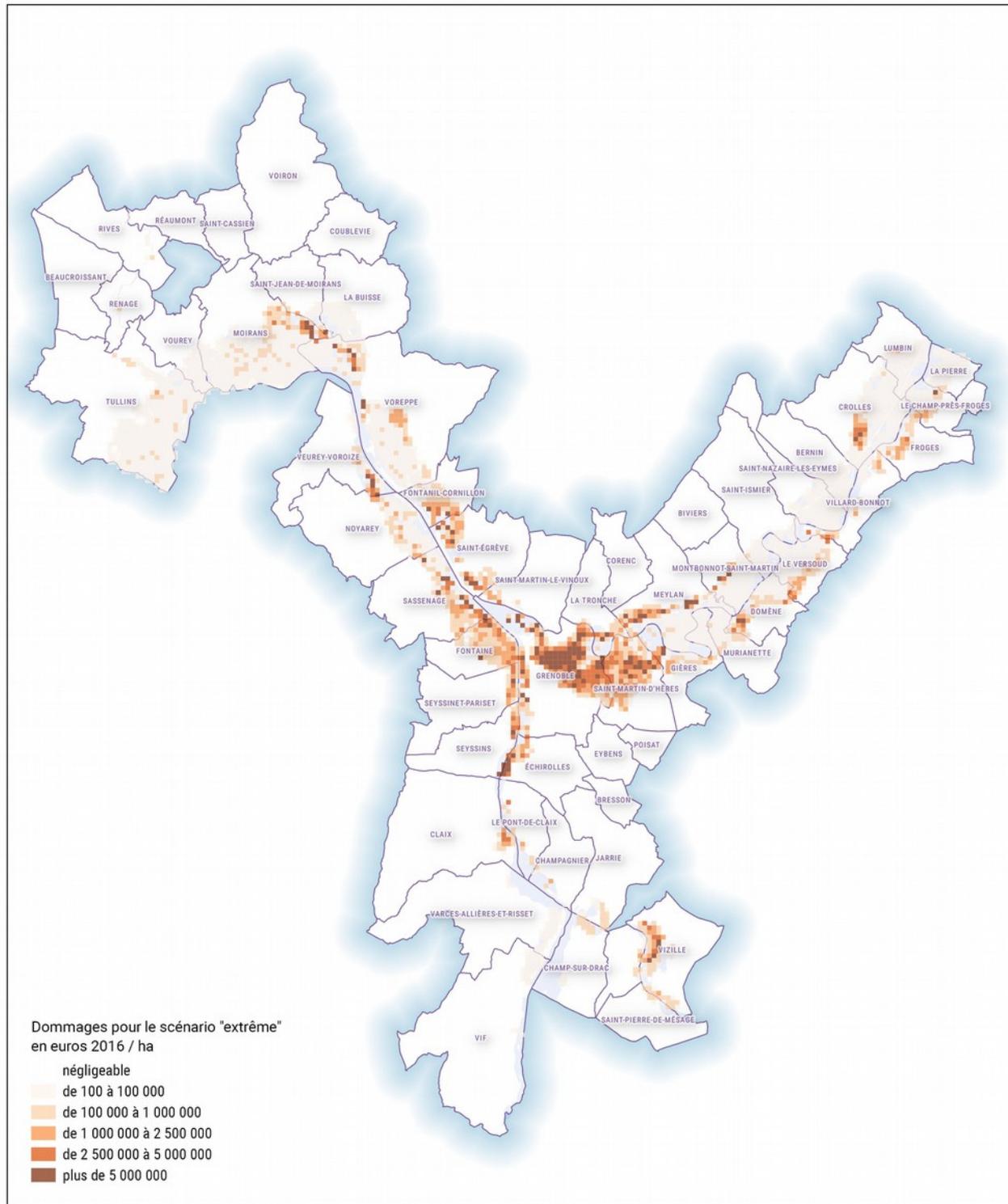
Un zoom au 1/50 000 est proposé sur le secteur de Grenoble, avec en fond de plan le Scan 25 de l'IGN.

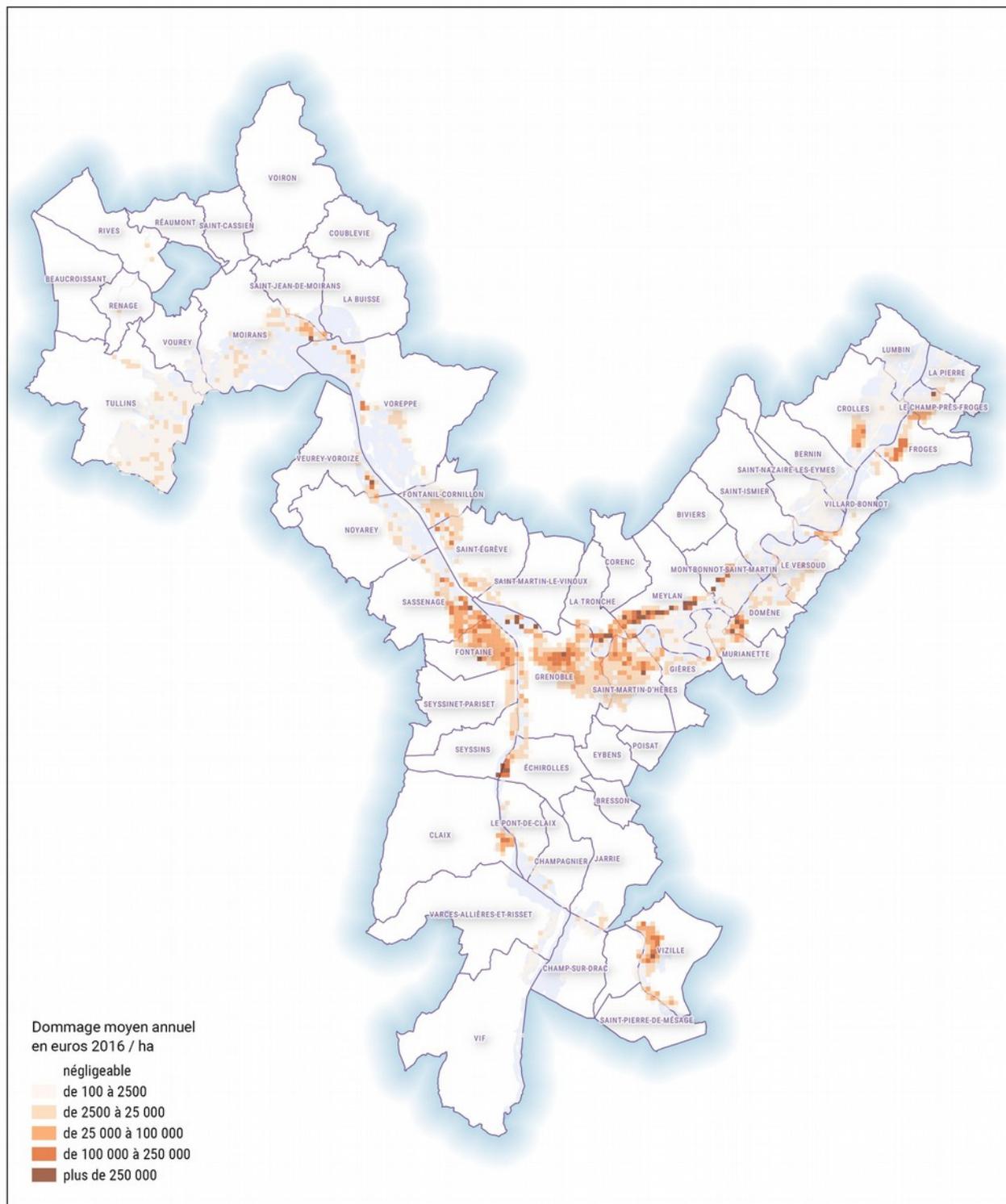

 Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

 Direction territoriale Méditerranée - 30 Avenue Albert Einstein - CS 70499 - 13593 Aix-en-Provence Cedex 3 - Tél : +33 (0)4 42 24 76 76  
 Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

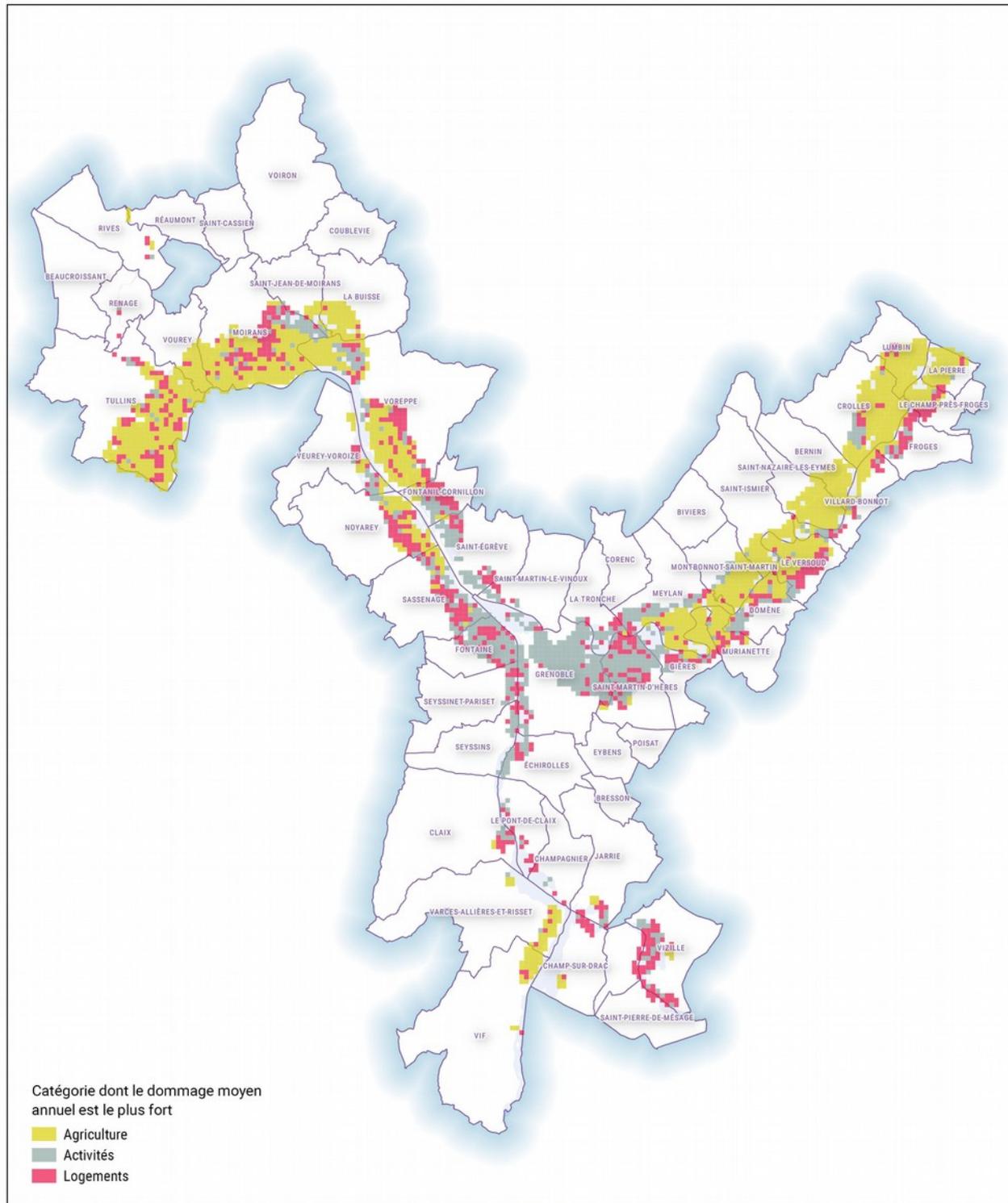

 Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

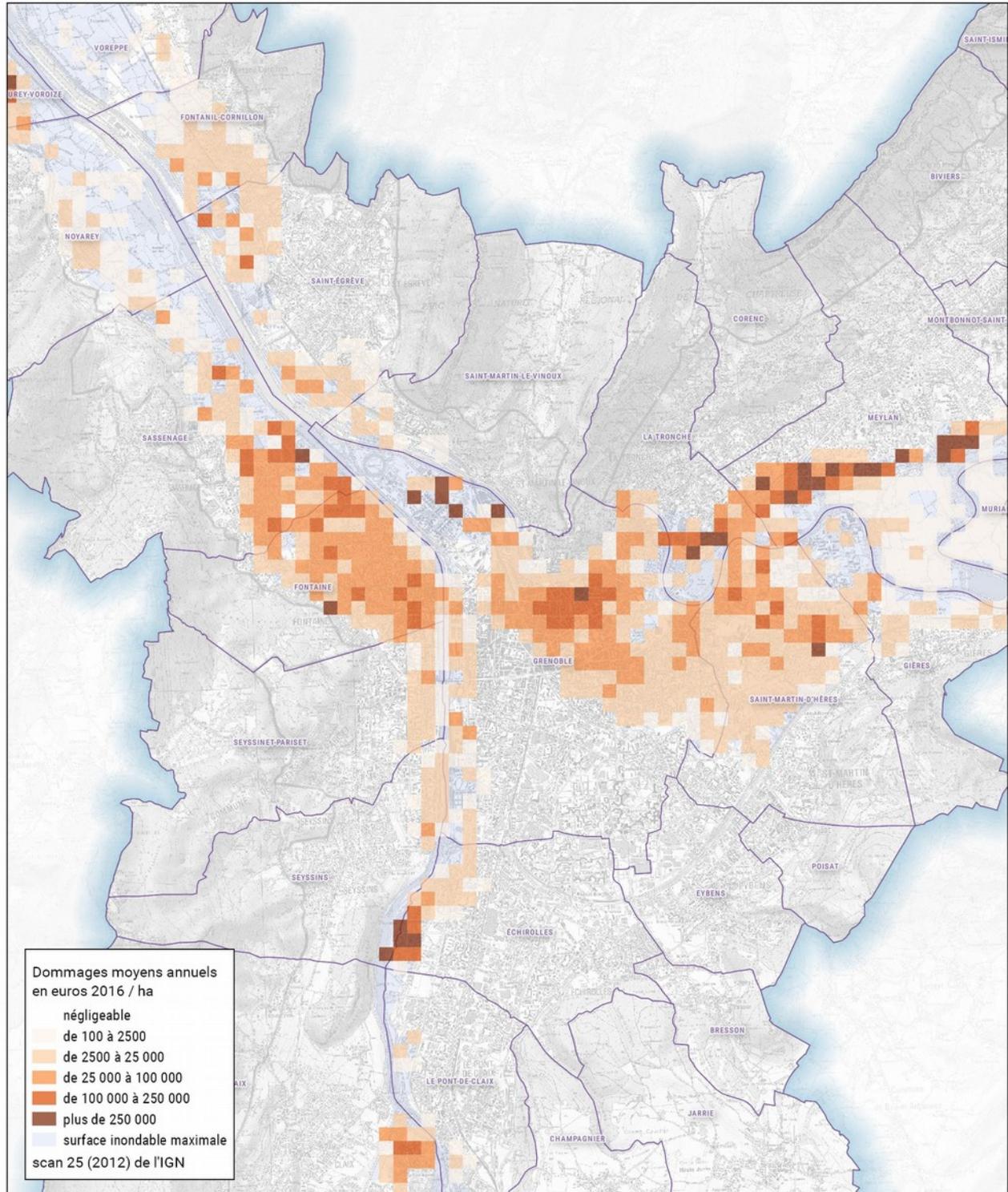
 Direction territoriale Méditerranée - 30 Avenue Albert Einstein - CS 70499 - 13593 Aix-en-Provence Cedex 3 - Tél : +33 (0)4 42 24 76 76  
 Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30




 Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

 Direction territoriale Méditerranée - 30 Avenue Albert Einstein - CS 70499 - 13593 Aix-en-Provence Cedex 3 - Tél : +33 (0)4 42 24 76 76  
 Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30




 Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

 Direction territoriale Méditerranée - 30 Avenue Albert Einstein - CS 70499 - 13593 Aix-en-Provence Cedex 3 - Tél : +33 (0)4 42 24 76 76  
 Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

## 6 Incertitudes et points d'attention

La méthode utilisée ici nécessite de nombreuses hypothèses :

- sur le plan général, tous les dommages n'ont pas été pris en compte : il manque notamment les dommages aux équipements publics (salle des fêtes, stations d'épuration...), aux infrastructures (routes) : cela pourra faire l'objet d'améliorations ultérieures ;
- la méthode de l'analyse coût-bénéfice dispose de ses propres incertitudes ; utilisée en comparant un scénario avant et après travaux, certaines erreurs sont de plus susceptibles d'être gommées : ce ne sera pas le cas ici ;
- la généralisation à de grands territoires nécessite des hypothèses fortes :
  - la hauteur d'eau est approximée par une tranche pour laquelle la valeur moyenne du dommage a été calculée : pour chaque tranche l'erreur de hauteur entraîne une erreur de calcul de dommage ; le dommage étant une fonction croissante de la hauteur, on peut raisonner sur les extrémités de l'intervalle. Ainsi, la moyenne des dommages peut représenter pour un point un aspect maximisant (si la hauteur réelle était en bas de la fourchette) ou minimisant (si la hauteur était en haut de la fourchette) ; dans certaines ACB où les modélisations hydrauliques précises n'étaient pas disponibles, les mêmes hypothèses ont pu être formulées par le passé ;
  - les surélévations des enjeux ne sont pas prises en compte, et les dommages sont donc surévalués ;
  - la vitesse de l'eau n'est pas connue et donc renseignée globalement, ce qui peut entraîner des différences importantes localement ; ce problème ne concerne que les dommages à l'agriculture et peut être présent dans des ACB « classiques » car l'évaluation de la vitesse est délicate.

### 6.1 Comparaison avec les résultats de l'analyse coût-bénéfice menée sur l'Isère amont

L'étude menée par Egis Eau en mars 2014 concerne l'Isère amont sur 50 km environ (29 communes) pour laquelle des aménagements étaient envisagées (3 tranches).

Bien que s'appuyant sur la méthodologie officielle d'alors (qui a évolué depuis, puisque le guide AMC date de fin 2014), des adaptations des courbes d'endommagement ont été réalisées :

- sur l'habitat les courbes ont été pondérées en tenant compte de la vétusté des bâtis, et les courbes de dommages de base sont totalement différentes (méthodologie datant d'avant 2014), car s'appuyant sur le type d'urbanisation (urbain dense ou pavillonnaire), un prix au m<sup>2</sup> de surface brute et sur un coefficient d'endommagement lié à la hauteur d'eau ;
- pour les activités économiques, des entretiens avec les gérants des entreprises ont permis de réaliser des courbes d'endommagement spécifiques, notamment pour les grandes entreprises présentes sur le territoire ;
- des adaptations ont été réalisées sur les équipements publics également.

L'étude s'appuie sur de nombreuses visites de terrains et sur des entretiens spécifiques. Ainsi ont été relevées des caractéristiques telle que le niveau de mise hors d'eau, le nombre d'étages des constructions, la présence supposée d'une cave ou d'un garage en sous-sol ou la vétusté.

Outre les différences sur les hypothèses, les différences méthodologiques entre l'étude d'EGIS (qui s'appuie sur l'ancienne méthodologie ACB, d'avant 2014) et la présente étude (qui s'appuie sur la méthodologie de 2014 pour les logements et l'agriculture, et sur la future méthodologie pour les activités) ne permettent pas d'opérer une quelconque comparaison.

Cette comparaison pourrait être présentée (on peut évaluer les chiffres de l'état initial dans le cadre de l'étude EGIS pour les logements, les entreprises et l'agriculture, et les chiffres dans le cadre de la présente étude), mais que les chiffres se ressemblent ou non ne dirait rien sur la pertinence de la méthode ou des hypothèses. Il se serait en effet pas possible de distinguer les différences liées aux approximations (hypothèses) des différences méthodologiques parfois considérables ; à titre d'exemples :

- une étude sur le Var a montré des variations du simple au double selon que l'on appliquait les courbes à l'unité de logement, ou les courbes à la surface, les deux s'appuyant pourtant sur des préconisations du même guide de 2014 ;
- les courbes applicables aux entreprises jusqu'à aujourd'hui s'appuyaient sur la méthodologie développée dans le cadre des travaux sur le Rhône ; aujourd'hui des courbes ont été élaborées dans le cadre des travaux du GT AMC ; les dommages à un commerce de proximité (code 4711E) de 1 000 m<sup>2</sup> et 5 employés inondé plus de 48 h par 70 cm d'eau étaient évalués à 79 692 euros avec les anciennes courbes et sont désormais évalués à 169 769 euros avec les nouvelles.

Il paraît plus pertinent pour la présente étude d'envisager une étude de sensibilité, présentée ci-après.

## 6.2 Étude de sensibilité

La saisonnalité et la durée ont un impact important sur le résultat, mais ce sont des paramètres qui peuvent aisément être appréhendés par le service instructeur, au même titre qu'un bureau d'étude se doit de l'appréhender dans une analyse coût-bénéfice pour un projet de protection.

En revanche les hypothèses sur la hauteur et la vitesse sont fortes (la vitesse n'étant utilisée que pour les dommages agricoles) et il est proposé de simuler plusieurs scénarios de simplification.

### 6.2.1 Influence de la hauteur d'eau

#### *6.2.1.1 Influence de l'imprécision de la hauteur d'eau, connue par classes*

Le fait de ne pas disposer de hauteur d'eau précise oblige à considérer des classes (cf. paragraphe 3) et à prendre des moyennes pour ces classes.

On peut mesurer ici le minimum et le maximum calculé si au lieu de prendre la moyenne, on avait pris le minimum ou le maximum de chaque classe. Les calculs ont été réalisés en ce sens et ont donné lieu à de nouvelles cartes.

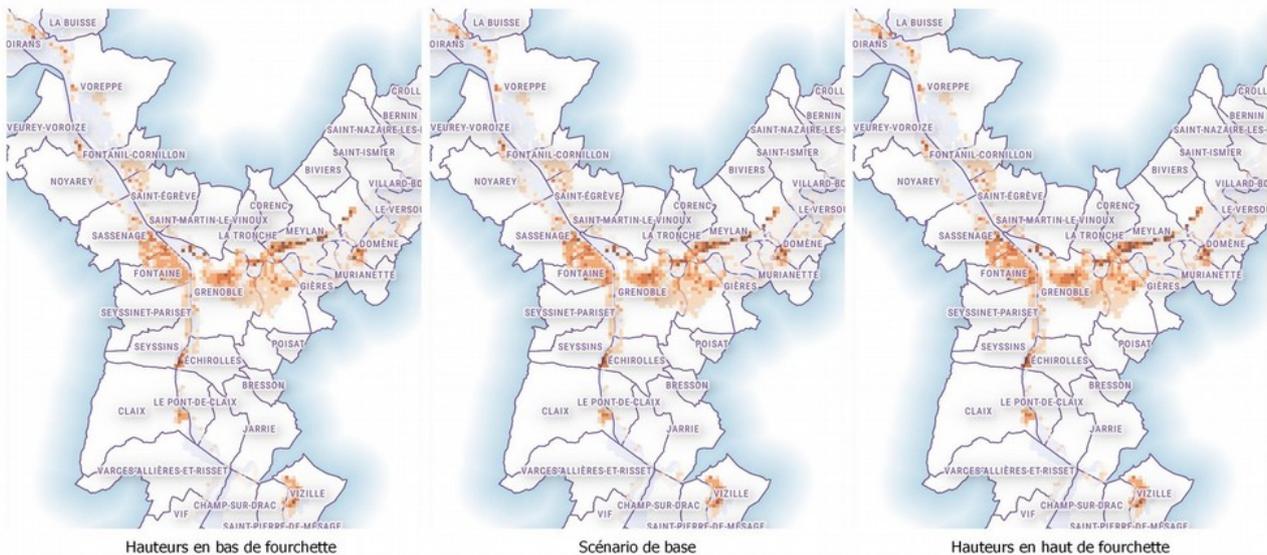


Illustration 5: La variation dans les classes de hauteur ne changent pas la répartition globale des dommages

Les chiffres totaux sont les suivants :

Hypothèses	Fréquent			Moyen			Extrême		
	Agriculture	Entreprises	Logements	Agriculture	Entreprises	Logements	Agriculture	Entreprises	Logements
Bas de fourchette	1 599	166 978	13 079	3 212	784 244	86 239	4 929	3 191 308	363 906
Référence	1 612	197 145	16 240	3 621	917 604	111 276	5 440	3 759 855	439 456
Haut de fourchette	1 635	223 759	18 298	4 229	1 063 622	122 574	6 195	4 290 530	482 755

Tableau 1: Dommages en k€ pour les différents scénarios de prise en compte des tranches de hauteur d'eau

La variation moyenne apparaît être de l'ordre de 15 % en moins ou en plus selon les hypothèses de hauteurs d'eau (Tableau 1).

La répartition dans les différents secteurs reste semblable (Illustration 5).

### 6.2.1.2 Influence de l'absence de mise hors d'eau

Considérer que les hauteurs d'eau à l'intérieur des bâtiments est la même qu'à l'extérieur est une hypothèse pénalisante : les dommages sont surévalués. Cette question touche essentiellement les bâtiments d'habitation, les bâtiments d'activité étant plus souvent au niveau du sol.

Il serait possible de considérer par exemple que les logements construits après les PPR respectent les côtes de mise hors d'eau prévues dans ces PPR : cela nécessiterait des étapes supplémentaires, probablement plus d'intervention des services instructeurs lors d'un déploiement, et n'a donc pas été mise en œuvre à ce stade.

Pour tester les erreurs liées à ces hypothèses, il est proposé un tirage au sort pour chaque bâtiment d'habitation, avec la cible de 30 % de l'échantillon au niveau du sol, 50 % avec une mise hors d'eau de l'ordre de 50 à 75 cm et 20 % avec une mise hors d'eau de l'ordre de 1 m à 1,5 m (choix arbitraires). Pour cela, un nombre aléatoire entre 0 et 1 est tiré à chaque enjeu puis situé entre les bornes 0,3 et 0,8 :

- si le nombre est inférieur à 0,3, il n'y a pas de mise hors d'eau ;
- si le nombre est entre 0,3 et 0,8, il y a une mise hors d'eau entre 0,5 et 0,75 m ;
- si le nombre est supérieur à 0,8, la mise hors d'eau est entre 1 et 1,5 m.

Classes de hauteurs prises en compte pour le calcul			
Classes	Niveau du sol	Mise hors d'eau entre 0,50 et 0,75 m	Mise hors d'eau entre 1 et 1,5 m
0 à 0,5 m	0 à 0,5 m	0 m	0 m
0,5 m à 1 m	0,5 m à 1 m	0 à 0,5 m	0 m
1 m à 2 m	1 m à 2 m	0,5 m à 1 m	0 à 0,5 m
Plus de 2 m	Plus de 2 m	1 m à 2 m	1 m à 2 m

Le résultat des calculs pour les dommages moyens annuels (DMA) est présenté sur les cartes suivantes :

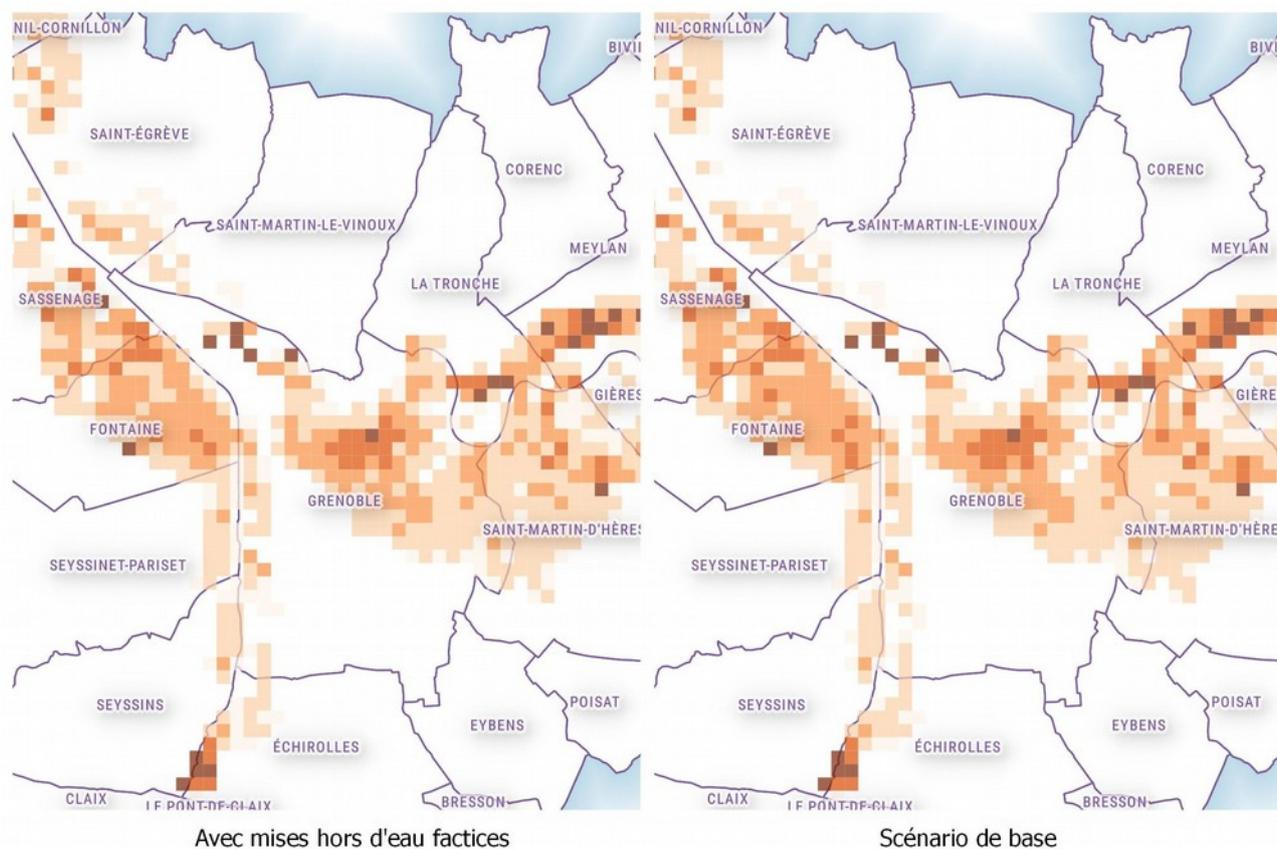


Illustration 6: Sur le secteur d'étude, l'impact des mises hors d'eau, affectant le logement, n'est pas prépondérant

L'influence sur les DMA est relativisée sur ce territoire par la prédominance des activités. Les résultats chiffrés figurent sur le tableau suivant :

Hypothèse	Fréquent		Moyen		Extrême	
	Logement	Total	Logement	Total	Logement	Total
Mises hors d'eau simulées	10 379	209 136	67 535	988 759	320 434	4 085 729
Référence	16 240	214 996	111 276	1 032 501	439 456	4 204 751

Ces chiffres confirment l'impact faible sur ce territoire dense en activités, avec un impact de 3 % maximum, là où le logement est impacté jusqu'à 40 %.

Afin d'examiner plus en détail l'impact sur la répartition géographique, un autre jeu de cartes a été créé, montrant le DMA lié au logement, et adoptant une échelle de dégradés plus détaillée dans les valeurs plus faibles. Ces cartes sont les suivantes :



L'influence de la vitesse sur les dommages à l'agriculture est forte, mais l'agriculture représente une part faible du total.

Ainsi, les variations maximales peuvent atteindre 1,4 M€ en moins et 1,7 M€ en plus pour le scénario extrême, à comparer à 4 204 M€ (0,4 ‰). Pour le scénario fréquent, les variations se situent entre 0,7 M€ en moins et 0,1 M€ en plus, à comparer à 215 M€ (soit 3 ‰).

Sur des territoires à dominante rurale avec des cultures à forte valeur ajoutée, il sera important de choisir les valeurs au plus près de la réalité, en se basant sur les événements connus.

## 7 Conclusion et perspectives

L'accès plus facile pour les services de l'État vers des bases de données sur les entreprises, le logement ou l'agriculture permet de proposer une méthode pouvant être utilisée sur tous les TRI du territoire national, dès lors que les données ont respecté le standard COVADIS.

Même si les incertitudes peuvent être fortes, la méthode permet de disposer d'une représentation visuelle de la répartition des dommages attendus. Ainsi des secteurs potentiellement plus touchés peuvent être mis en exergue, même si le montant total calculé pour une commune, un cours d'eau ou le TRI tout entier n'est pas très précis.

De par sa constitution, un déploiement sur la France entière au travers d'un outil permettant, en renseignant des paramètres locaux tels que durée des crues, vitesses moyennes à prendre en compte et saisonnalité, de calculer automatiquement les dommages est envisageable.

## 8 Bibliographie

- [1] C. Magnier, N. Christin, et C. Peinturier, « Analyse multicritères des projets de prévention des inondations – Guide méthodologique », Commissariat Général au Développement Durable, juillet 2014.
- [2] A.-L. Agenais, F. Grelot, P. Brémond, et K. Erdlenbruch, « Dommage des inondations au secteur agricole – Guide méthodologique et fonctions nationales », IRSTEA, nov. 2013.
- [3] C. Moulin, « Fichier foncier : contribution du fichier foncier à l'analyse des enjeux et de la vulnérabilité », Cerema Méditerranée, nov. 2016.
- [4] A. Ferraton et M. Zevort, « Jeux de données SIG – Vérification et correction des géométries », Centre de prestations d'ingénierie informatiques Ouest, mai 2017.
- [5] « Territoire à risque important d'inondation (TRI) de Grenoble / Voiron – Cartographie des surfaces inondables et des risques – Rapport explicatif », DREAL Rhône-Alpes, décembre 2013.
- [6] C. Moulin et S. Charaud, « Directive inondation – Dénombrement des populations et des emplois », Cete Méditerranée, oct. 2013.
- [7] N. Morales, « Réalisation d'une analyse coût-bénéfice des tranches 2 et 3 du projet "Isère amont" », EGIS Eau, mars 2014.

Connaissance et prévention des risques - Développement des infrastructures - Énergie et climat - Gestion du patrimoine d'infrastructures  
Impacts sur la santé - Mobilités et transports - Territoires durables et ressources naturelles - Ville et bâtiments durables

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction Territoriale Méditerranée - Pôle d'activités 30 Avenue Albert Einstein - CS 70499 - 13593 AIX-EN-PROVENCE Cedex 3 - Tél : +33 (0)4 42 24 76 76

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)