berga sud
hydrogéologues
contact@bergasud.fr
Tél. : 04 67 99 52 52

Département de l'Hérault

Secteurs de CORNEILHAN, FLORENSAC et MÈZE

RAPPORT HYDROGÉOLOGIQUE

Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des sables astiens

Réalisé à la demande de :

Syndicat Mixte d'Etudes et de Travaux de l'Astien (SMETA)
Domaine de Bayssan
Route de Vendres
34500 BÉZIERS

Montpellier, le 17 août 2017

N° 34/Astien B 16 093

SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE 5
2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE 6
3. DÉFINITION DU PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE 6
4. CADRE GÉOLOGIQUE 7
4.1. Lithostratigraphie 7
4.2. Faciès des sables astiens 8
4.3. Structure 8
5. HYDROGÉOLOGIE DES SABLES ASTIENS 10
5.1. Référentiels 10
5.2. Nature et géométrie du réservoir 10
5.3. Alimentation de l'aquifère 12
5.4. Échanges entre les eaux superficielles et les eaux souterraines 12
6. ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA NAPPE PAR RAPPORT À LA RECHARGE PAR LES PLUIES 14
6.1. Caractérisation de la pluviométrie 14
6.1.1. Analyse spatiale 14
6.1.2. Analyse temporelle 14
6.1.3. Analyse du régime des pluies 17
6.2. Caractérisation de la piézométrie des sables astiens par rapport à la pluviométrie 18
6.3. Caractérisation de la piézométrie des sables par rapport aux alluvions récentes 22
6.4. Comportement des polluants en zone non saturée 24
6.5. Synthèse 26
7. CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ 27
7.1. Définitions 27
7.2. Méthodologie générale 28
7.3. Classification des critères 28
7.3.1. Pente 28
7.3.2. Lithologie 29
7.3.3. Recouvrement 29
7.3.4. Echanges 29
7.3.5. Zone de vulnérabilité 29
7.3.6. Pédologie 30
7.3.7. Points bas 31
7.4. Croisement des critères 32
7.4.1. Approche méthodologique 32
7.4.2. Modulation des pondérations 35
7.5. Résultats 36
7.6. Réserves 39
7.7. Zones ponctuelles de vulnérabilité 39
8. COMPARAISON AVEC LES MESURES DE TERRAIN 40
9. CONCLUSION 41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principales stations météorologiques du secteur d'étude 14
Tableau 2 : Description des piézomètres sélectionnés 19
Tableau 3 : Evolution de la recharge calculée à partir de la pluie (mm) et de l'ETP (mm) ANTEA, 2013 21
Tableau 4 : Classement des pentes par indice de vulnérabilité 28
Tableau 5 : Classement de la roche à l'affleurement par indice de vulnérabilité 29
Tableau 6 : Classement du recouvrement par indice de vulnérabilité 29
Tableau 7 : Croisement de la texture avec la pierrosité du sol 30
Tableau 8 : Croisement de l'épaisseur avec la nature du sol - Classement en indice de vulnérabilité 30
Tableau 10 : Modulation des pondération - Version 1 35
Tableau 11 : Modulation des pondérations - Version 2 35

Liste des Illustrations

Illustration 1 : Coupe géologique schématique - Barbecot, 1999 9
Illustration 2 : Schéma des formes caractéristiques déterminant l'indice de courbure 32
Illustration 3 : Diagramme de pondération - Version 1 33
Illustration 4 : Diagramme de pondération - Version 2 avec pédologie 34
Illustration 5 : Diagramme de pondération - Version 2 sans pédologie 34

Liste des Graphiques

Graphique 1 : Anomalie des cumuls annuels de précipitation en mm - secteur de Béziers – ADEME 2016 16
Graphique 2 : Anomalie des cumuls annuels de précipitation en mm - secteur de Marseillan – ADEME 2016 16
Graphique 3 : Anomalie des cumuls annuels de précipitation en mm - secteur de Pézenas – ADEME 2016 16
Graphique 4 : Comparaison des cumuls annuels des pluies (période 2007-2016) et des moyennes pluviométriques de 1981 à 2010 17
Graphique 5 : Répartition moyenne de l'intensité des épisodes pluvieux (2007-2015) 18
Graphique 6 : Chroniques piézométriques 10040, 10031, 1782 et 16 (2000-2017) 20
Graphique 7 : Comparaison des niveaux piézométriques (10040 et 10031) avec la pluviométrie au niveau de Servian (2012-2017) 20
Graphique 8 : Comparaison de la recharge moyenne calculée et du niveau piézométrique moyen sur le piézomètre 14 sur une année - ANTEA 2013 22
Graphique 9 : Comparaison du niveau du fil d'eau dans l'Hérault (station limnimétrique de Montagnac) avec les niveaux piézométriques sur 1782 et 16 (2014-2017) 23
Graphique 10 : Surface des différentes classes de vulnérabilité sur la zone d'étude - Version 1, pondération 1 37
Graphique 11 : Tableau 13 : Surface des différentes classes de vulnérabilité sur le secteur de Corneilhan - Version 1, pondération 1 37
Graphique 12 : Surface des différentes classes de vulnérabilité sur le secteur de Florensac - Version 1, pondération 1 38
Graphique 13 : Surface des différentes classes de vulnérabilité sur le secteur de Mèze - Version 1, pondération 1 38

LISTE DES FIGURES

Figure 1a Situation géographique au 1/100 000

Figure 1b Situation géographique au 1/50 000 – Secteur de Corneilhan

Figure 1c Situation géographique au 1/50 000 – Secteur de Florensac

Figure 1d Situation géographique au 1/50 000 – Secteur de Mèze

Figure 2 Situation géologique

Figure 3 Localisation des piézomètres de suivi des sables astiens

Figure 4a Critères pris en compte pour la cartographie de la vulnérabilité - Secteur de Corneilhan

Figure 4b Critères pris en compte pour la cartographie de la vulnérabilité - Secteur de Florensac

Figure 4c Critères pris en compte pour la cartographie de la vulnérabilité - Secteur de Mèze

Figure 5a Critère hydrogéologique - Secteur de Corneilhan

Figure 5b Critère hydrogéologique - Secteur de Florensac

Figure 5c Critère hydrogéologique - Secteur de Mèze

Figure 6a Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque –Version 1 – Pondération 1 – Corneilhan

Figure 6b Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 2 – Corneilhan

Figure 6c Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 3 – Corneilhan

Figure 6d Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 1 – Florensac

Figure 6e Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 2 – Florensac

Figure 6f Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 3 – Florensac

Figure 6g Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 1 – Mèze

Figure 6h Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 2 – Mèze

Figure 6i Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 1 – Pondération 3 – Mèze

Figure 7a Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 1'– Corneilhan

Figure 7b Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 2' – Corneilhan

Figure 7c Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 3' – Corneilhan

Figure 7d Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 1' – Florensac

Figure 7e Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 2' – Florensac

Figure 7f Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 3' – Florensac

Figure 7g Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 1' – Mèze

Figure 7h Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 2' – Mèze

Figure 7i Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque – Version 2 – Pondération 3' – Mèze

Figure 8a Vulnérabilité intrinsèque des sables astiens incluant les points d'infiltration préférentielle – secteur de Corneilhan

Figure 8b Vulnérabilité intrinsèque des sables astiens incluant les points d'infiltration préférentielle – secteur de Florensac

Figure 8b Vulnérabilité intrinsèque des sables astiens – secteur de Florensac

Figure 9a Points d'échantillonnage des sables astiens – Corneilhan

Figure 9b Points d'échantillonnage des sables astiens – Florensac

Figure 9c Points d'échantillonnage des sables astiens – Mèze

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Les sables astiens, situés sur le littoral méditerranéen dans le département de l'Hérault, renferment un aquifère côtier exploité pour l'alimentation en eau potable des collectivités publiques (communes) et privées (ERP, type camping, gîtes et restaurants non reliés au réseau AEP). D'autres usages, pour l'agriculture et les besoins domestiques ou industriels, existent mais restent minoritaires (≈ 15 %). L'aquifère s'étend sur 450 km^2 environ et recoupe le territoire de vingt communes.

Les sables astiens sont majoritairement recouverts par des terrains à dominante argileuse mais ils affleurent sur trois secteurs non contigus où ils sont alimentés par les précipitations et les eaux de ruissellement, d'Ouest en Est : Corneilhan, Florensac et Mèze. Les sables s'enfoncent vers le Sud-Est, jusqu'à atteindre une profondeur de plus de 100 mètres en bordure de la Méditerranée.

Sur les secteurs présentant un recouvrement argileux, les sables sont naturellement protégés vis-à-vis des infiltrations directes, hormis au niveau des forages défaillants qui peuvent rompre cette protection naturelle.

Au niveau des secteurs où les sables affleurent (ou sous une couverture peu épaisse), la nappe n'est pas protégée vis-à-vis de l'infiltration directe des eaux superficielles, potentiellement vectrice d'agents contaminants.

En 2009, le Syndicat Mixte d'Études et de Travaux de l'Astien (SMETA) a lancé une étude afin de déterminer la vulnérabilité de la nappe contenue dans les sables de l'Astien. Cette étude a permis une délimitation précise des zones vulnérables de la nappe, un recensement des puits et forages au sein de ces secteurs et la détermination des principales sources potentielles de pollution. Cette étude avait pour objectif de protéger les zones de vulnérabilité et a permis un pré-diagnostic.

Les trois zones de vulnérabilité de la nappe astienne définies dans ce rapport ont été identifiées en tant que zones de sauvegarde dans le SDAGE RM 2016-2021 et s'inscrivent dans les dispositions du SAGE de la nappe astienne, porté par le SMETA ; Objectif général 6 : Protéger les zones de vulnérabilités.

L'objectif de cette nouvelle étude, lancée par le SMETA et confiée au groupement d'entreprises Otéis, BERGA-Sud et Envilys, est de parfaire les connaissances déjà acquises sur les secteurs vulnérables de la nappe astienne afin de permettre la mise en œuvre d'un plan de gestion adapté visant à préserver la qualité de la ressource en eau souterraine.

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La zone d'étude se situe au Sud-Ouest du département de l'Hérault. Elle correspond à la zone de plaine littorale qui s'étend approximativement entre l'embouchure de l'Aude au Sud-Ouest, une ligne Corneilhan - Nézignan l'Evêque - Mèze au Nord, l'étang de Thau à l'Est et la Méditerranée au Sud-Est.

Le secteur est dominé par des plaines drainées du Nord-Ouest vers la Méditerranée au Sud-Est. Les principaux cours d'eau sont, d'Ouest en Est, l'Aude, l'Orb, le Libron, la Thongue (affluent de l'Hérault) et l'Hérault.

L'altitude décroit du Nord-Ouest au Sud-Est, passant de 110 mètres dans le secteur de Corneilhan à 0 mètre en bordure du littoral. Le relief est dominé par quelques sommets volcaniques : Mont St Loup (11 m, Agde), Monts Ramus (84 m, St Thibéry), et le Grand Bosc (25 à 43 m, Portiragnes).

La zone littorale est très fortement urbanisée (activité touristique importante), alors que la partie continentale est essentiellement occupée par des cultures (vignes, céréales, fruiticulture, maraîchage).

3. DÉFINITION DU PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE

Les zones d'affleurements des sables astiens ont été déterminées à partir de l'étude des cartes géologiques du secteurs d'étude, de l'observation des affleurements, de l'étude et de l'interprétation des pendages, de la morphologie (ruptures de pente), des photographies aériennes et des forages recensés pour lesquels des coupes existent. Les sables astiens affleurent au niveau des trois secteurs sur une superficie totale de 17 km^2 environ, d'après les cartes géologiques du BRGM de Saint-Chinian, Pézenas et Mèze.

Ces limites d'affleurements ont été étendues aux secteurs où les temps de transfert vers la nappe sont inférieurs à 50 jours (durée retenue pour la dégradation des micro-organismes dans les eaux souterraines). Ces surfaces représentent environ 30 km^2, soit environ 15 % de la surface totale de la nappe astienne. Ces différents secteurs sont présentés sur les Figures 1.

Afin de prendre en compte d'éventuels apports par les eaux de surface, les bassins versants des cours d'eau traversant ces zones de vulnérabilité ont été pris en compte.

Lors du premier COPIL (16/09/2016), il a été décidé d'étendre la zone d'étude aux seuls **bassins versants des zones dont les ruissellements se dirigent (topographiquement) vers la zone de vulnérabilité** ; les bassins versants des cours d'eau interceptés par ces zones, présentant de très grandes superficies, en ont été exclus.

4. CADRE GÉOLOGIQUE

4.1. Lithostratigraphie

Un extrait de la carte géologique régionale de la France au 1/250 00 du BRGM, feuille n° 38 Montpellier est présenté sur la Figure 2.

Les formations géologiques présentes dans le secteur d'étude, regroupées par ensembles, sont, des plus récentes au plus anciennes :

Quaternaire : cailloutis villafranchiens, épanchements basaltiques et formations volcano-détritiques, alluvions anciennes et récentes, vases ;

Pliocène continental : grès, poudingue, brèches, galets, limons, argiles et marnes (80 à 150 m d'épaisseur) ;

Pliocène marin : sables jaunes représentant le faciès astien (jusqu'à 40 m d'épaisseur) ;

Miocène : calcaires lacustres ou lagunaires et molasses à dragées de quartz vers le sommet de la série et, vers la base, molasses sableuses et marnes bleues pouvant être entrecoupées de bancs calcaires (épaisseur maximale de 150 m) ;

Oligocène : limons jaunes et calcaires lacustres (jusqu'à 200 m d'épaisseur) ;

Eocène : calcaire, conglomérats, grès et marnocalcaires ;

Crétacé-sup. : marnes, calcaires, conglomérats et lentilles gréseuses ;

Crétacé-inf. : calcaires, marnocalcaires et marnes (jusqu'à environ 1 000 m d'épaisseur pour l'ensemble du crétacé) ;

Jurassique : calcaires massifs et calcaires marneux ou dolomitiques karstifiés, marnes (environ 800 m d'épaisseur).

4.2. Faciès des sables astiens

Il s'agit de sables calcaires et/ou siliceux à éléments carbonatés et micacés, d'origine marine, plus ou moins grossiers, généralement jaunâtres, et parfois très colorés, riches en foraminifères. On observe des stratifications entrecroisées dans les sables qui forment localement des bancs gréseux plus ou moins indurés.

Latéralement, on retrouve des variations de faciès qui mettent au contact des sables jaunes typiques avec des niveaux plus grossiers, graveleux ou des passées plus argileuses.

Vers la base le faciès devient plus marneux et renferme des lits de marnes bleuâtres, finement sableuses et micacés, qui rappellent le faciès plaisancien.

4.3. Structure

Le secteur d'étude se trouve dans un bassin d'effondrement oligo-miocène, au Sud-Est de la Montagne Noire qui est constituée par des terrains primaires.

Les formations du Jurassiques supérieur et moyen, érodées et nivelées après une longue période d'émersion, ont subi à la fin de l'Éocène l'action de la phase majeure de l'orogénèse pyrénéo-alpine. Il en résulte une structure profonde comportant plissements, chevauchements et écaillages dirigés du Sud-Est vers le Nord-Ouest et provenant de poussées ou de glissements à partir de l'axe pyrénéo-provençal dont la partie médiane se situe à l'emplacement du Golfe du Lion.

En discordance sur ces surfaces se sont déposés, à l'Oligocène, des sédiments fluviatiles, lacustres ou lagunaires dans des bassins lentement subsidents, à la suite d'une phase de distension génératrice de fossés d'effondrement de direction Sud-Sud-Ouest à Nord-Nord-Est.

L'effondrement de l'axe pyrénéo-provençal à l'Oligo-Miocène a entrainé un abaissement du bloc situé au Sud d'un axe « Villeneuve-lès-Béziers – Marseillan » et a permis le dépôt transgressif des formations miocènes sur les formations antérieures jusqu'à la bordure de la Montagne Noire.

Au Messinien, une érosion régressive déclenchée par l'abaissement brutal du niveau marin a provoqué le creusement de profonds canyons au niveau des cours d'eau majeurs de la région (Orb, Hérault et Lez). A cet épisode, où dominent les phénomènes d'érosion, sont associés de rares dépôts jalonnant les flancs des canyons.

Avec la transgression du Pliocène, la mer envahit les anciens canyons transformés en rias et ailleurs retrouve une position du rivage proche de celle d'aujourd'hui. Les dépôts d'argiles marines sont généralisés dans tout le domaine marin actuel tandis que dans les rias et les zones proches du continent leur succèdent des sables littoraux. Le domaine continental évolue alors en piémont dont l'étagement des formes et des dépôts répondent aux principaux évènements climatiques et aux fluctuations relatives du niveau marin. L'épaisseur très variable de ces formations est en fait conditionnée par l'ampleur du creusement régressif messinien, et peut atteindre vers l'aval, plusieurs centaines de mètres (565 m au Cap d'Agde cf. coupe ci-après-Ambert, 1991).

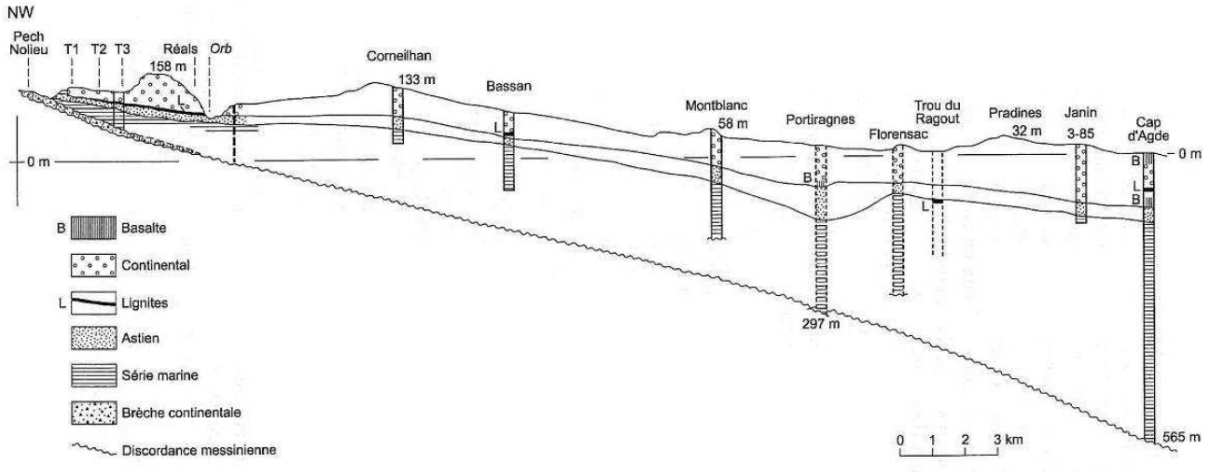


Illustration 1 : Coupe géologique schématique - Barbecot, 1999

D'après Barbecot, 1999, les formations du Pliocène sont recoupées par une faille d'orientation Nord-Est – Sud-Ouest, appartenant au faisceau languedocien et longeant la bordure Nord-Ouest de l'étang de Thau.

Les formations volcaniques, témoins de la terminaison méridionale du volcanisme du Massif Central peuvent également traverser les formations pliocènes.

5. HYDROGÉOLOGIE DES SABLES ASTIENS

5.1. Référentiels

Les sables astiens d'Agde Valras – embouchure de l'Aude, constituent l'entité hydrogéologique de niveau régional 647AB00 selon le référentiel BDLISA (226 dans l'ancien référentiel BDRHFv1).

Ils sont rattachés à la **masse d'eau souterraine FRDG224 « sables astiens de Valras-Agde »** dans le SDAGE 2016-2021. Dans l'état des lieux de 2013 cette masse d'eau présentait un bon état qualitatif et un état quantitatif médiocre (déséquilibre prélèvement/ressource). L'objectif d'atteinte du bon état quantitatif est fixé à l'échéance 2021 et le programme de mesures du SDAGE engage à des économies d'eau pour les différents usages, à une amélioration du rendement des réseaux d'adduction/distribution et à la mise en place d'un PGRE.

Depuis 2010 les sables astiens sont classés en ZRE.

5.2. Nature et géométrie du réservoir

Les sables astiens constituent un aquifère poreux dont la superficie, en domaine continental, est évaluée à environ 450 km^2. Seuls 17 km^2 affleurent au Nord de sa zone d'extension.

La limite d'extension des sables est difficile à tracer avec précision étant donné son recouvrement par le Pliocène continental et l'absence de forage dans certains secteurs.

Les sables s'appuient à l'Ouest contre les collines oligo-miocènes de Vendres, contournent le promontoire miocène de Béziers, s'avancent jusqu'à Corneilhan où l'affleurement est au contact du Miocène. Puis la limite passe non loin du village de Servian, suit un moment la vallée de la Thongue, traverse la vallée de l'Hérault entre Nézignan l'Evêque et Saint-Thibéry, s'incurve au Sud de Pomérols, puis remonte vers Mèze.

La limite est difficile à préciser sous l'étang de Thau mais des campagnes de recherche pétrolière menées dans le Golfe du Lion, dans les années 1980, ont permis de localiser l'horizon des sables astiens à une profondeur de près de 200 m à 5 km au large de Valras (Détermination de la géométrie de l'aquifère pour la partie marine – F.HANOT, BRGM – 2001)

Le mur de l'aquifère Astien est formé, sur la majeure partie de son extension, par les argiles et marnes gris-bleu du faciès Plaisancien. En bordure du bassin il peut être constitué localement par les marnes et molasses miocènes (secteurs de Corneilhan et de Mèze) ou par les calcaires lacustres éocènes (secteur de Florensac). Au Nord de la zone d'étude, le mur de l'aquifère est situé à une cote de +30 mètres, il plonge vers le littoral où il atteint une profondeur de 120 mètres.

Le toit de l'aquifère est constitué essentiellement par des argiles sableuses, limoneuses et détritiques (apports continentaux des Cévennes et de la Montagne Noire) attribués au Pliocène continental. Cette formation est semi-perméable et peut contribuer à l'alimentation de l'aquifère par drainance descendante.

Dans le secteur de Pinet, à la base du Pliocène continental il y aurait des lits de graviers et de sables grossiers qui n'auraient pas permis sa différenciation de l'Astien *stricto sensu*.

L'astien à une épaisseur moyenne de 20 mètres, mais peut atteindre 40 mètres par endroits, notamment vers le Sud. La formation plonge vers la mer : de +50 mètres jusqu'à une profondeur de -100 à -120 mètres environ pour le toit.

Plusieurs particularités sont à relever :

- une faille de direction N40° au voisinage de l'étang de Thau qui abaisse la structure dans sa partie Sud,
- un axe de surcreusement et une épaisseur des sables au droit de la basse vallée de l'Orb (ancienne ria),
- un rehaussement au droit de la vallée de l'Hérault provoquant un amincissement de l'aquifère.

La perméabilité de l'aquifère est globalement homogène, classique pour des sables limoneux, proche de $1{,}5.10^{-4}$ m/s (Barbecot, 1999).

5.3. Alimentation de l’aquifère

La recharge des sables astiens s’effectue par :

- infiltration directe des eaux précipitées, ou après ruissellement, au niveau des zones d’affleurements : de Corneilhan, Thézan et Lieuran-les-Béziers, à Nézignan-L’Evêque, Florensac et Mèze (pour une infiltration efficace de 100 à 200 mm/an, l’apport estimé est de 1,7 à 3,4 Mm^3/an selon l’étude des volumes prélevables),
- pertes diffuses dans les lits des cours d’eau (flux descendants). Ce mode d’alimentation est détaillé dans le paragraphe suivant,
- alimentation latérale, représentant une recharge peu importante, à partir des molasses du Miocène ou par les lentilles sablo-graveleuses du Pliocène continental (secteur de Pinet). Une alimentation moindre peut aussi se faire par les formations calcaires du Crétacé ou du Lutétien.

Les deux derniers modes d’alimentation ne sont pas quantifiables en l’état des connaissances actuelles.

5.4. Échanges entre les eaux superficielles et les eaux souterraines

Des échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface ont été observés sur les zones de vulnérabilité des sables astiens.

Au niveau du fleuve Hérault, sur la commune de Bessan (secteur de Florensac), les alluvions du fleuve reposent directement sur les sables astiens. Une connexion hydraulique entre ces deux niveaux existe. En régime naturel, l’Astien alimente la nappe des alluvions de l’Hérault tandis qu’en étiage et lors des crues de l’Hérault, la nappe alluviale alimente l’Astien. Un peu plus en aval de ce secteur, des échanges indirects ont lieu à travers une couche argileuse de faible épaisseur.

Dans le secteur de Mèze, le ruisseau de Nègue Vacques (petit cours d’eau qui présente un écoulement temporaire et qui se jette dans l’étang de Thau) s’écoule sur la zone d’affleurement des sables de l’Astien. Ce ruisseau est alimenté, de manière régulière, par les eaux d’un forage artésien profond du domaine de la Castillonne, qui alimentent l’exploitation piscicole avant de rejoindre le ruisseau. Des mesures de débit, réalisées à plusieurs périodes de l’année et le long du linéaire du ruisseau, ont démontré une relation entre la nappe astienne et le ruisseau de Nègue Vacques ; en période de basses eaux, le ruisseau se perd au contact des sables astiens et en hautes eaux, le fonctionnement est inversé.

Dans le secteur de Corneilhan, le Libron s'écoule sur la partie Est de la zone d'affleurement des sables astiens. Comme il traverse les affleurements, un échange hydraulique entre les deux nappes est probable selon l'Atlas hydrogéologique du BRGM/Agence de l'Eau RM et C.

L'Orb s'écoule au droit des sables astiens uniquement en bordure du littoral. Dans ce secteur, l'épaisseur du recouvrement empêche toute connexion hydraulique, hormis au niveau de forages qui seraient mal conçus et/ou dégradés.

6. ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA NAPPE PAR RAPPORT À LA RECHARGE PAR LES PLUIES

La vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère est directement liée aux conditions de recharge de la nappe, principalement via l'infiltration sur les zones d'affleurement et par les échanges avec les alluvions récentes des cours d'eau. Ces modes d'alimentation de la nappe sont donc fortement conditionnés par la pluviométrie qui impacte plus ou moins directement la piézométrie.

6.1. Caractérisation de la pluviométrie

6.1.1. Analyse spatiale

Les cumuls annuels moyens de précipitations sur les principales stations météorologiques du territoire de la nappe astienne sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Station	Période de mesures	Cumul moyen annuel (mm)
Servian	1981-2010	662
Pézenas	1981-2010	655
Béziers	1981-2010	595
Florensac	1981-2010	603
Marseillan	1981-2010	535
Sète	1981-2010	562

Tableau 1 : Principales stations météorologiques du secteur d'étude

On observe une gradation des cumuls pluviométriques du littoral vers l'intérieur des terres. En moyenne sur la période il pleut annuellement ≈ 550 mm vers Marseillan/Sète, au niveau de Pézenas le cumul atteint 589 mm et ≈ 660 mm vers Servian.

Les stations météorologiques utilisées pour l'analyse piézométrique vont donc être celles de Servian pour le secteur de Corneilhan, celle de Florensac pour le secteur éponyme et celle de Sète pour le secteur de Mèze.

6.1.2. Analyse temporelle

Au cours de l'année 2015 et à l'occasion de la COP 21, l'ADEME Languedoc-Roussillon, en partenariat avec le Conseil Départemental de l'Hérault et l'Association climatologique de l'Hérault, a produit un état des lieux des indices du changement climatique observé sur l'Hérault, à partir de l'analyse des données météorologiques depuis 40 ans (© ADEME, mai 2016).

Les stations de Béziers, Pézenas et Marseillan, proches de la zone d'étude, font l'objet de fiches spécifiques qui sont données en Annexe.

Au niveau de la pluviométrie, l'examen des simples cumuls annuels, mais également saisonniers, ne met pas en évidence de tendance d'évolution statistiquement significative sur les différentes stations de référence.

Toutes les pluies ne présentent cependant pas la même efficacité, notamment du point de vue de la recharge des nappes aquifères ou de la disponibilité pour les végétaux.

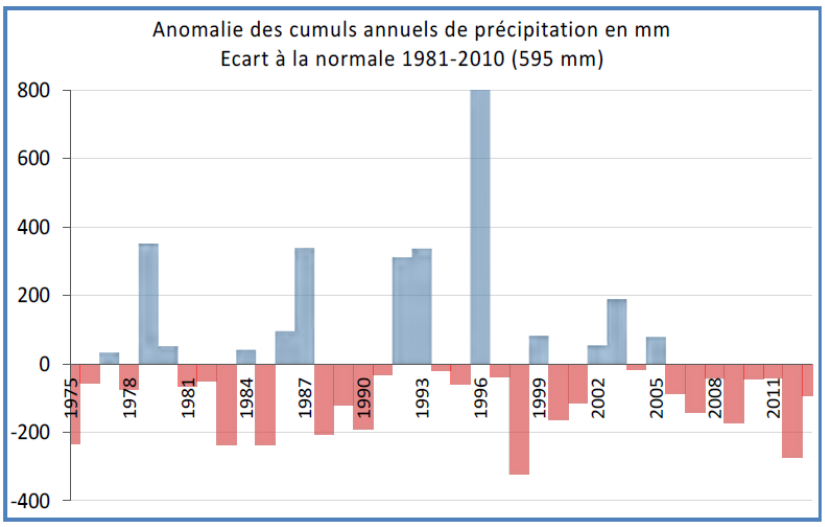
En deçà de 10 mm, l'intérêt de la pluie reste très limité, d'autant plus que la hausse des températures en accélère l'évaporation. A l'opposé, au-delà de 40 mm, et encore plus de 100 mm, le ruissellement prend de l'importance et limite d'autant l'intérêt de l'épisode pluvieux.

A l'échelle du département de l'Hérault, aucune tendance d'évolution générale n'a pu être mise en évidence sur ces typologies de précipitation. C'est en particulier le cas pour les épisodes de pluie torrentielle qui sont ni plus ni moins fréquents que par le passé.

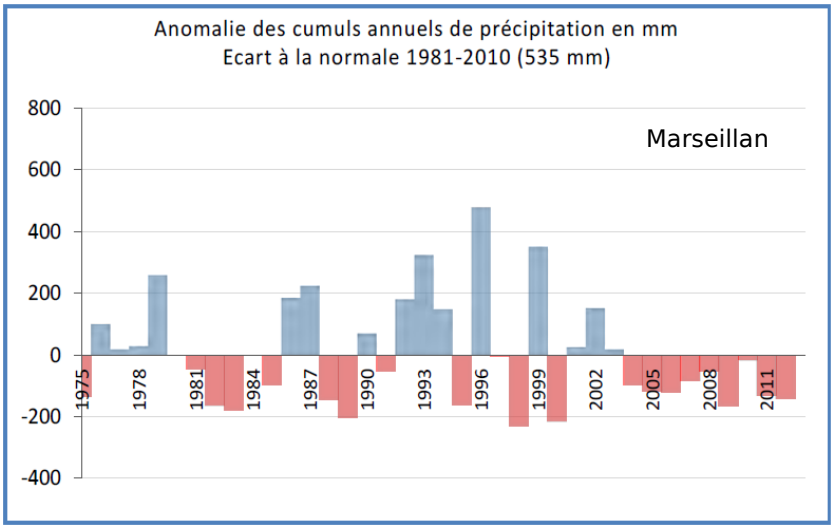
Les chroniques d'écarts à la normale pour les stations de Béziers, Marseillan et Pézenas, extraites du document de l'ADEME sont reproduites ci-après (cf. Graphiques 1 à 3). L'ADEME conclut sur l'absence de tendance en termes de cumul annuel, mais souligne l'existence de périodes successives d'années déficitaires, pénalisantes pour la recharge des aquifères :

- de 2006 à 2013 à Béziers,
- de 2004 à 2013 à Marseillan et à Pézenas

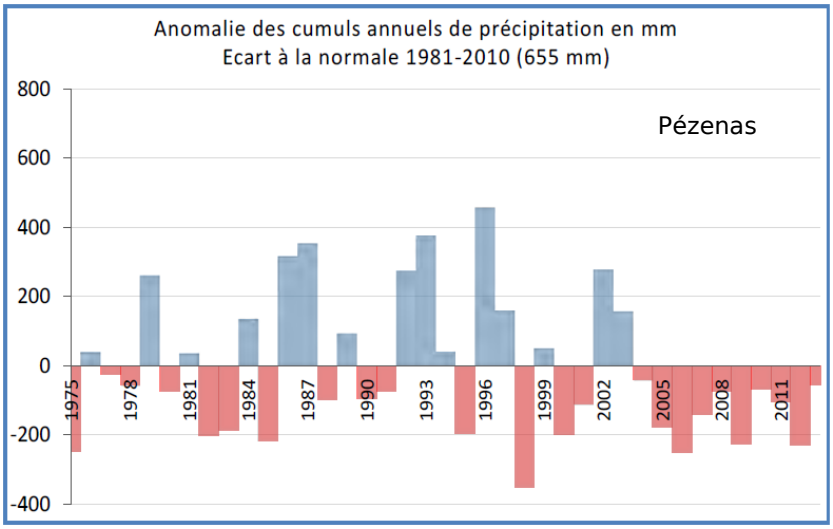
Béziers



Graphique 1 : Anomalie des cumuls annuels de précipitation en mm - secteur de Béziers – ADEME 2016



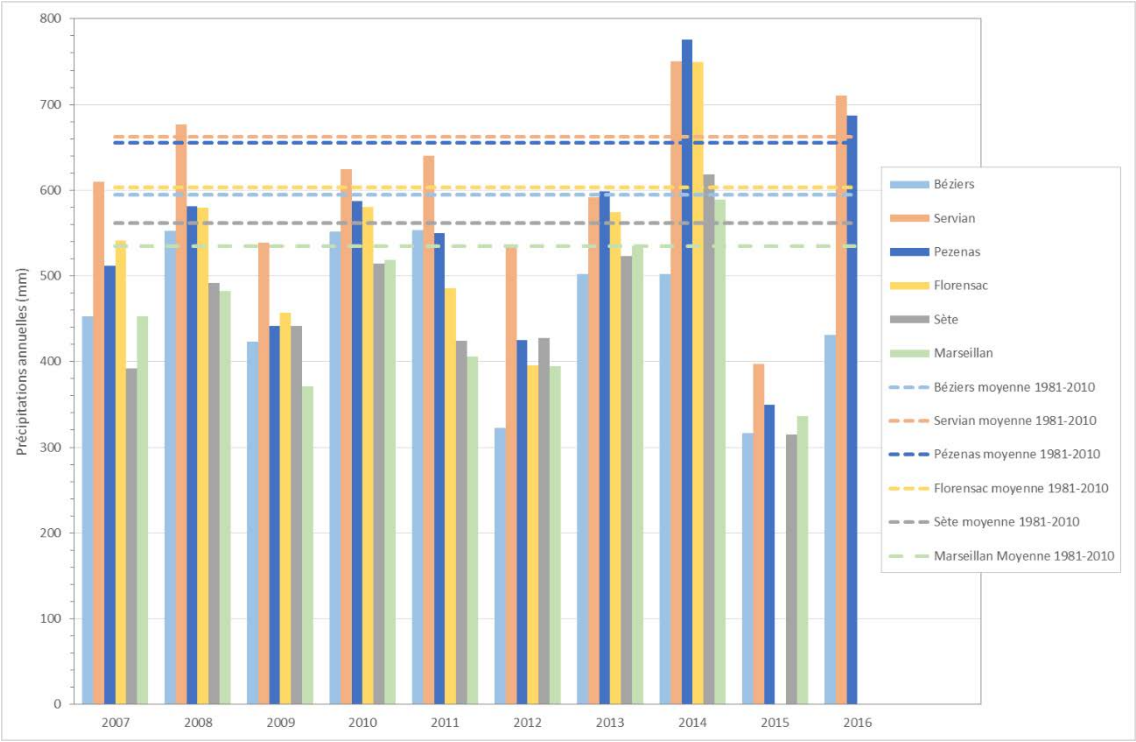
Graphique 2 : Anomalie des cumuls annuels de précipitation en mm - secteur de Marseillan – ADEME 2016



Graphique 3 : Anomalie des cumuls annuels de précipitation en mm - secteur de Pézenas – ADEME 2016

Le report des cumuls annuels (données de l'ACH) sur la période 2007-2016 (histogrammes), en regard des moyennes de 1981 à 2010 (pointillés), montre que seules les années 2014 et 2016 ont connu des précipitations supérieures à la moyenne (à l'exception de Béziers), notamment par des épisodes automnaux intenses (cf. Graphique 4).

L'année 2012 est déficitaire et succède à plusieurs périodes « sèches », l'année 2015 est marquée par un écart à la moyenne fortement négatif.

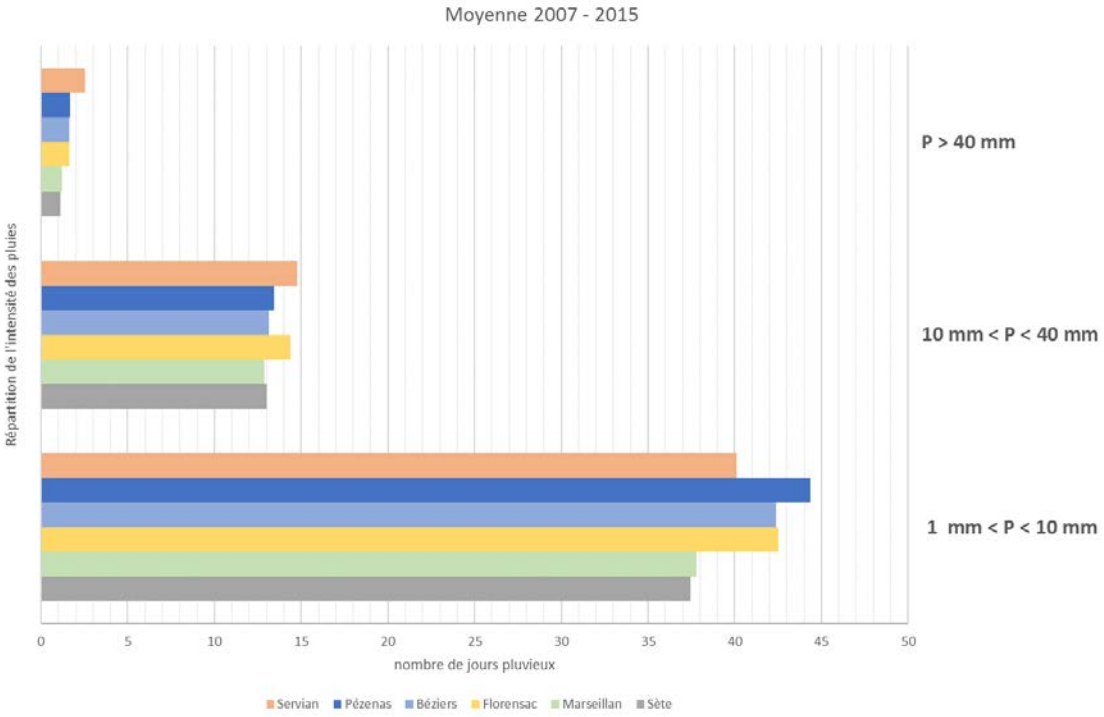


Graphique 4 : Comparaison des cumuls annuels des pluies (période 2007-2016) et des moyennes pluviométriques de 1981 à 2010

6.1.3. Analyse du régime des pluies

Le Graphique 5 présente la répartition moyenne entre 2007 et 2015 des jours où la pluviométrie enregistrée est comprise entre 1 et 10 mm, entre 10 et 40 mm et supérieure à 40 mm (annales climatologiques de l'Hérault).

En l'absence de données sur Florensac depuis 2015 (vol du matériel), le traitement s'est fait pour cette station de 2007 à 2014.



Graphique 5 : Répartition de l'intensité moyenne des épisodes pluvieux (2007-2015)

Ce graphique met en évidence, que les pluies sur l'ensemble du secteur d'étude sont majoritairement (entre 35 et 45 jours par an) de faible intensité (entre 1 et 10 mm). Le nombre de jours de pluie de faible intensité est plus important sur Pézenas qu'à Sète.

Le nombre d'épisodes pluvieux moyen (entre 10 et 40 mm) est équivalent sur les différents secteurs (≈ 13 jours).

Les épisodes de forte intensité (lame d'eau supérieure à 40 mm) sont davantage observés sur le secteur de Servian que sur le secteur de Sète. Une gradation de la fréquence des épisodes >40 mm est observée entre le secteur littoral et celui plus « continental » de Servian.

6.2. Caractérisation de la piézométrie des sables astiens par rapport à la pluviométrie

Les suivis piézométriques, mis en place par le SMETA (16 piézomètres bancarisés), permettent d'apprécier les fluctuations du niveau d'eau sur les différents secteurs de la nappe des sables astiens.

Afin de comparer ces différences de comportement, nous avons sélectionné, parmi les ouvrages existants dans le secteur amont de la nappe (ades.eaufrance.fr), les chroniques les plus représentatives en fonction de leur localisation géographique et de la qualité de la donnée (historique et fréquence des mesures). Les ouvrages sélectionnés sont (cf. Figure 3) :

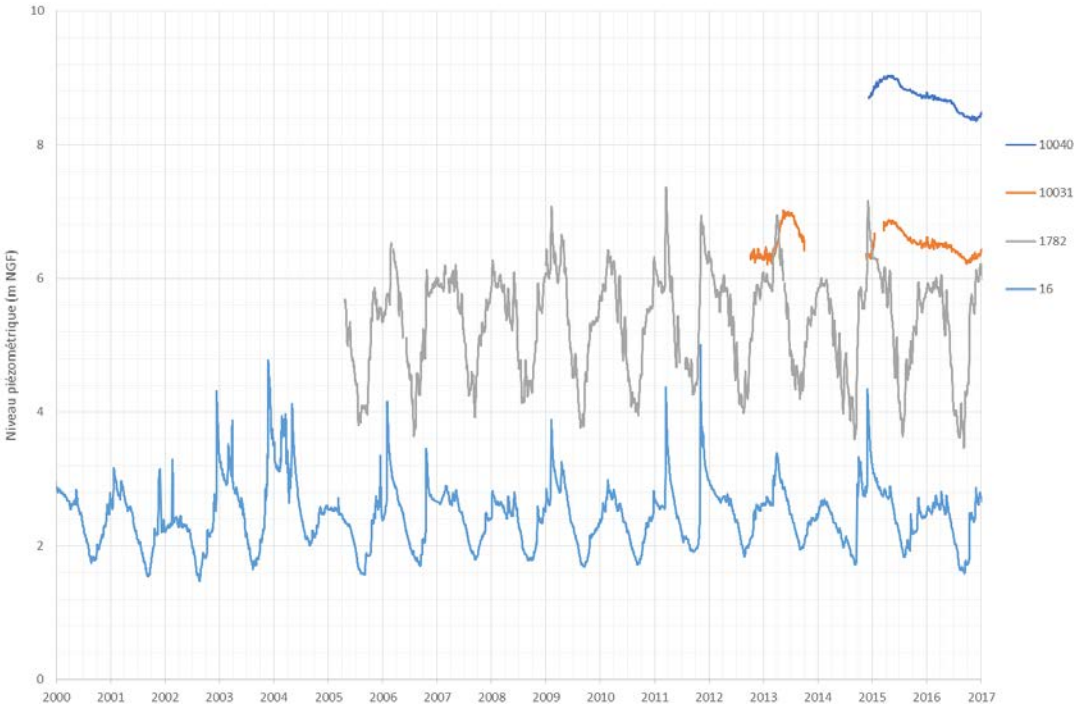
Code BSS // SMETA Commune	**Contexte géologique**	**Station météo**
BSS002JBGU // 10040 Servian	Sables astiens amont sous couverture du Pliocène continental	Servian
BSS002JBVL // 10031 Florensac	Sables astiens sous faible recouvrement plio-quaternaire	Florensac
BSS002KPDW // 16 Florensac	Sables astiens sous recouvrement argileux mais en relation étroite avec les alluvions de l'Hérault	
BSS002KPLD // 1 782 Bessan	Sables astiens sous couverture argileuse épaisse qui les sépare localement des alluvions de l'Hérault	

Tableau 2 : Description des piézomètres sélectionnés

Le Graphique 6 compare l'amplitude des variations du niveau d'un ouvrage à l'autre pour la chronique la plus étendue possible. Il permet de préciser le comportement global de la nappe dans ce secteur :

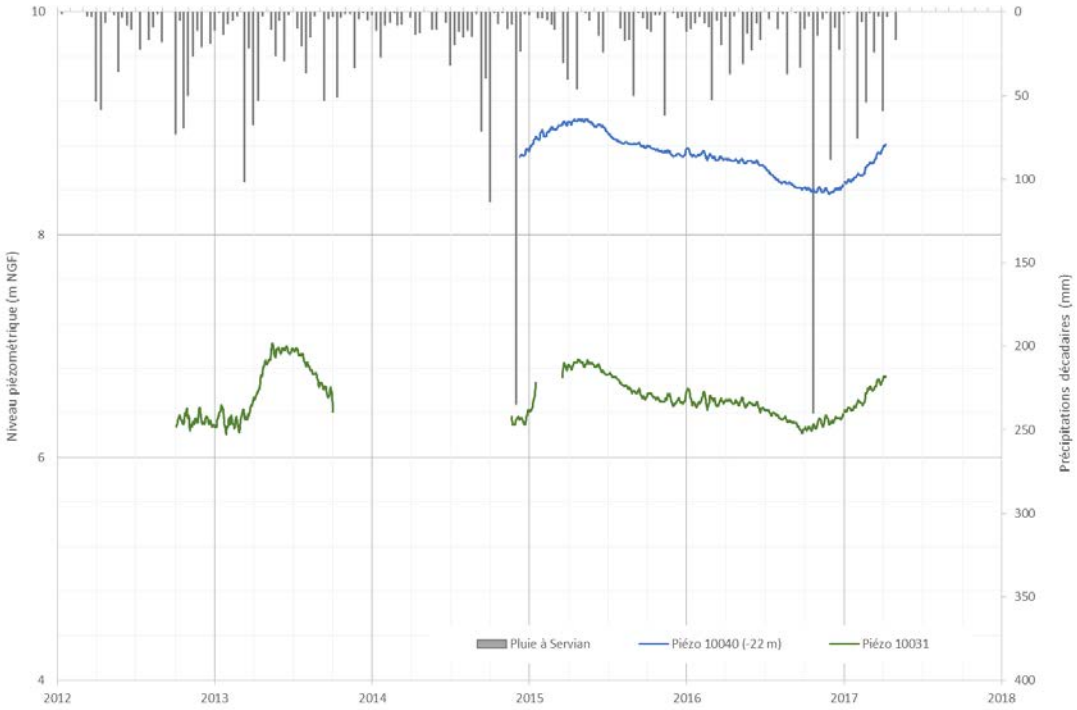
- niveaux hauts dans l'aquifère de décembre à avril,
- décrue « naturelle » du niveau d'avril à mai/juin,
- forte accélération de la baisse du niveau à partir de juin/juillet (saison touristique) avec des basses eaux observées en août,
- remontée du niveau à l'issue de la fin de la période estivale (diminution des prélèvements) et recharge de la nappe par les pluies de septembre, octobre et novembre.

L'analyse comparative des chroniques piézométriques montre un comportement semblable pour les deux piézomètres représentatifs de la nappe dans le secteur amont proche des zones d'affleurement (10040 et 10031) d'une part et ceux situés à proximité de l'Hérault (1782 et 16), dans un secteur plus distant des zones d'affleurement, d'autre part.



Graphique 6 : Chroniques piézométriques 10040, 10031, 1782 et 16 (2000-2017)

La comparaison des niveaux piézométriques dans les sables, dans le secteur amont de la nappe, avec la pluviométrie observée au niveau de Servian est donnée sur le Graphique 7 :



Graphique 7 : Comparaison des niveaux piézométriques (10040 et 10031) avec la pluviométrie au niveau de Servian (2012-2017)

Pour faciliter la comparaison des niveaux, celui du 10040 a été artificiellement diminué de la valeur 22.

Malgré la carence de données (10040 mis en service en décembre 2014 et lacune de données piézométrique sur 10031 entre octobre 2013 et novembre 2014), cette chronique permet d'observer trois périodes de recharge :

- au printemps 2013 sur 10031, plusieurs épisodes pluvieux successifs d'intensité moyenne, totalisant 190 mm sur le mois de mars, provoquent une remontée nette du niveau (≈ 0,7 m), après un étiage marqué consécutif à plusieurs années sèches et à année 2012 nettement déficitaire ;

- à l'automne 2014 sur 10031 et 10040, où des précipitations exceptionnelles ont été observées fin novembre (235 mm) et ont également provoqué une remontée du niveau de la nappe mais de façon plus amortie ;

- à l'automne/hiver 2016 qui a connu un épisode pluvieux très intense le 12 et 13 octobre (240 mm), puis des épisodes significatifs de novembre 2016 à mars 2017, où l'on observe une remontée régulière des niveaux, d'environ 0,50 m, beaucoup moins rapide que pour les épisodes précédents.

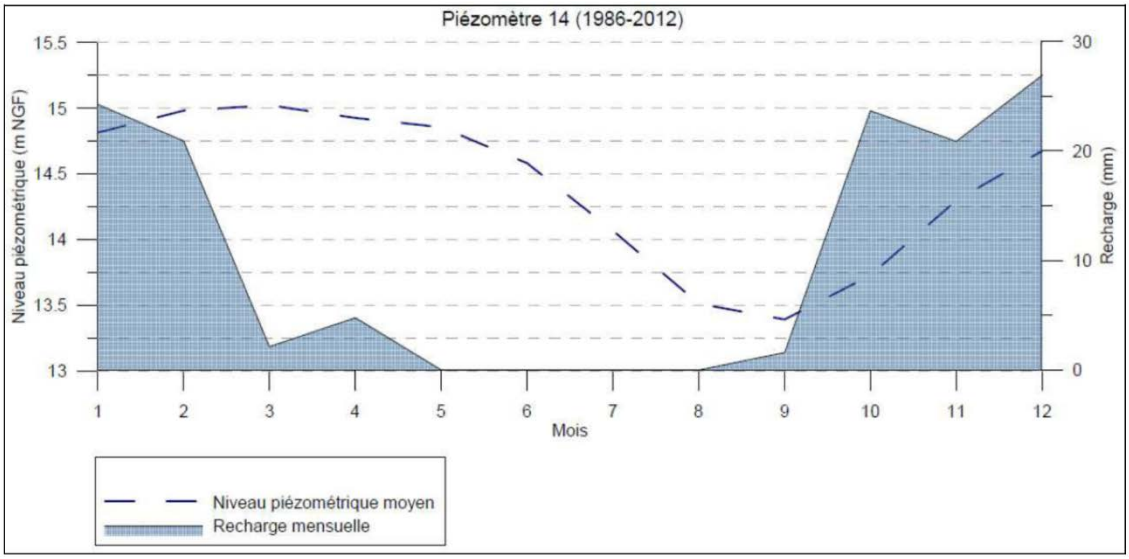
Ce fonctionnement montrerait que des épisodes moyens (>50 mm) et répétés sont plus efficaces qu'un épisode très intense et unique pour lequel le ruissellement est maximum.

Selon le rapport de synthèse de l'étude des volumes prélevables (ANTEA –juin 2013), sur la période 2000-2010, la recharge moyenne, calculée à partir des données pluviométriques, est de 109 mm (cf. Tableau 3).

Année	*Recharge (mm)*	*Pluie (mm)*	*ETP (mm)*
2000	159	770	1033
2001	71	435	1083
2002	160	931	1046
2003	182	591	1111
2004	25	396	1056
2005	3	544	1090
2006	52	518	1118
2007	0	373	1096
2008	215	891	1034
2009	111	652	1087
2010	219	791	1018
Moyenne	109	627	1070

Tableau 3 : Evolution de la recharge calculée à partir de la pluie (mm) et de l'ETP (mm) - ANTEA, 2013

Le Graphique 8 montre la relation entre la recharge calculée et les niveaux piézométriques observés sur le piézomètre 14. Cet ouvrage a été considéré comme étant le plus représentatif de la recharge du fait de sa localisation à proximité d'une zone d'alimentation. Ce graphe met en évidence une corrélation entre la recharge et la remontée du niveau piézométrique à partir du mois de septembre. La période de recharge s'étale de septembre/octobre à février/mars, en dehors de ces périodes elle est nulle.



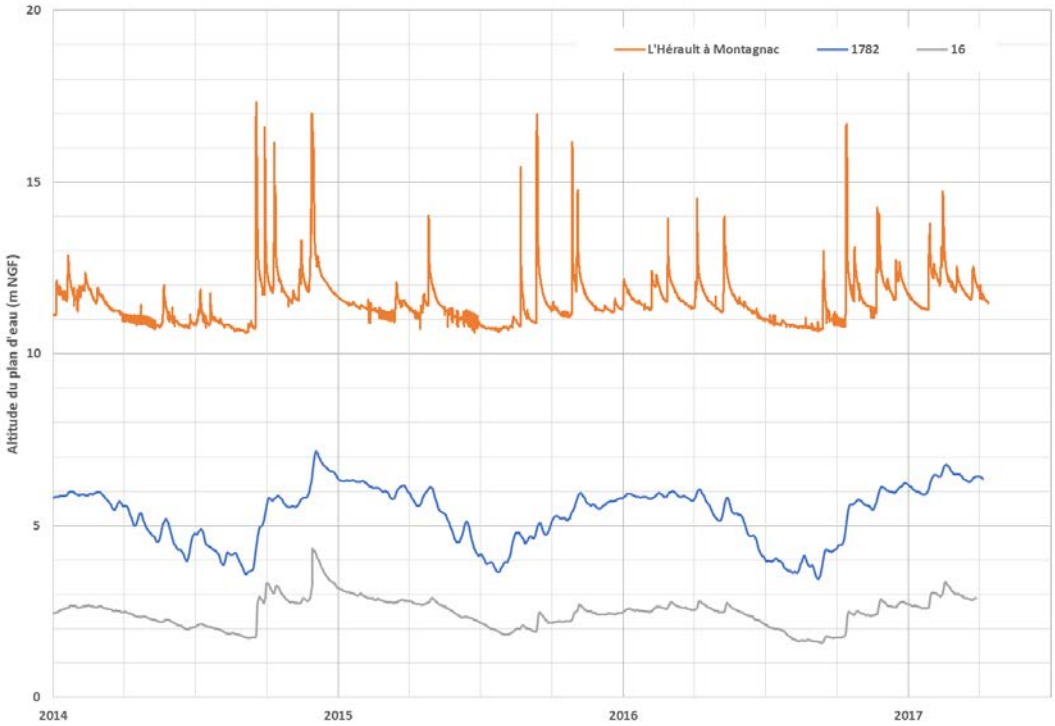
Graphique 8 : Comparaison de la recharge moyenne calculée et du niveau piézométrique moyen sur le piézomètre 14 sur une année - ANTEA 2013

6.3. Caractérisation de la piézométrie des sables par rapport aux alluvions récentes

Le Graphique 9 permet de comparer les hauteurs d'eau dans l'Hérault (station de Montagnac, banque HYDRO) avec le niveau dans les sables astiens sur deux piézomètres situés à l'aval de la zone de contact où ces derniers sont en relation avec les alluvions de l'Hérault :

- le 1782 qui capte l'aquifère des sables astiens entre 59 et 61 m et entre 67 et 91 m de profondeur sous un recouvrement argileux épais qui les isole des formations superficielles,

- le 16 qui capte les sables astiens à partir de 30 m de profondeur dans un secteur où ils sont plus proches des alluvions et du cours aérien de l'Hérault.



Graphique 9 : Comparaison du niveau du fil d'eau dans l'Hérault (station limnimétrique de Montagnac) avec les niveaux piézométriques sur 1782 et 16 (2014-2017)

Ce graphe montre la forte corrélation qui existe entre le niveau d'eau dans l'Hérault et celui dans les sables astiens au niveau des piézomètres 1782 et 16.

Les épisodes de crue dans l'Hérault se traduisent par une remontée du plan d'eau de l'aquifère quasi-instantanée dans le 16 et très légèrement retardée et progressive dans le 1782. La réponse apparait toutefois plus intense dans le 1782 que dans le 16, probablement en raison d'une captivité supérieure dans le 1782.

Cette remontée du niveau s'observe même en 2015 (année « sèche ») sur ces piézomètres, lors des épisodes pluvieux de fin d'été et d'automne, alors que les piézomètres 10040 et 10031 (situés à l'amont de la zone d'échange sables astiens/alluvions récentes, cf. Graphique 7) voient l'étiage se poursuivre. Cette différence de comportement d'un secteur à l'autre de la nappe atteste de l'alimentation de l'aquifère par l'Hérault dans ce secteur.

6.4. Comportement des polluants en zone non saturée(*)

La zone non saturée d'un aquifère comprend l'ensemble des niveaux du sol et du sous-sol situés au-dessus de la surface de saturation. Ces niveaux sont dits non saturés car les espaces lacunaires ne sont que partiellement remplis d'eau à l'inverse de la partie noyée de l'aquifère.

L'eau qui s'infiltre, qu'elle soit issue des précipitations ou de l'irrigation, constitue le vecteur d'une pollution potentielle depuis la surface vers le sous-sol. Le transfert s'effectue sous l'action de la gravité et des flux d'eau circulant depuis la surface du sol par effet de pression.

Plusieurs paramètres régissent le comportement des écoulements en zone non saturée, les principaux sont :

- **la porosité efficace**. Ce paramètre résulte de la combinaison de la texture, de la granulométrie, de l'argilosité et de la pierrosité du sol. Le temps de parcours est directement lié à la porosité cinématique et à la capacité du milieu à se laisser traverser par un fluide (perméabilité). Plus un sol a une porosité structurale et notamment une macroporosité importante, plus les transferts sont rapides. A l'inverse dans un sol faiblement poreux ou à microporosité les écoulements sont lents. Ainsi l'eau et les solutés qu'elle transporte s'infiltreront plus rapidement dans un faciès de sables propres et grossiers que dans des sables fins dont une partie des pores est remplie par de l'argile. Dans la microporosité d'autres phénomènes viennent ralentir l'effet de la gravité comme les forces de frottement et la capillarité ;

- **la teneur en eau** du sol fluctue entre sa valeur minimale (proche de 0 mais plus fréquemment sa valeur au point de flétrissement permanent, en dessous de laquelle les racines ne peuvent plus prélever d'eau) et sa valeur maximale à saturation (variable selon les types de sol et leur texture). A saturation tout l'espace poral (micro et macro) est rempli d'eau, ce qui permet un transfert plus rapide qu'en période de non saturation où l'eau vient d'abord remplir les vides avant de s'écouler ;

(*)*Lemière B., Seguin J.J, Le Guern C., Guyonnet D., Baranger Ph., Darmendrail D., Conil P. (2001) – Guide sur le comportement des polluants dans le sol et les nappes. Applications dans un contexte d'Évaluation Détaillée des Risques pour les ressources en eau. BRGM/RP-50662-FR, 103 p, 20 fig., 9 tab., 5 ann.*

Arnaud L., Baran N., (2009) – Détermination des vitesses de transferts de l'eau et des nitrates dans la zone non saturée de l'aquifère crayeux en Haute-Normandie. Rapport BRGM/RP-57828-FR, 136p., 54 il., 3 ann.

Jury, W. A.; Winer, A. M.; Spence, W. F. & Focht, D. D.
Transport and transformation of organic chemicals in the soil-air-water ecosystem -Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, *1987, 99, 119-164*

Jury, W. A. & Fluhler, H.
Transport of Chemicals Through Soil: Mechanisms, Models, and Field Applications - Advances in Agronomy, *1992, 47, 141-201*

- **l’évaporation** qui est fonction de la végétation, dont les racines peuvent puiser dans le sol pour consommer une partie de l’eau et de l’insolation qui peut favoriser l’évaporation lors que la nappe ou les écoulements en zone non saturée sont peu profonds.

La propagation d’une pollution dans la zone non saturée va dépendre de la densité du polluant, de sa vitesse de dégradation, de sa solubilité dans l’eau, etc.

Les nitrates sont largement solubles dans d’eau et se dégradent peu ou uniquement sous l’action de réactifs oxydoréducteurs ou d’actions bactériennes.

La plupart des pesticides sont solubles à très solubles dans l’eau et leur stabilité est très variable, mais on observe une forte tendance à la dégradation spontanée sous forme d’espèces organiques tout aussi polluantes (métabolites). D’une manière générale, cette dégradation se produit dans la zone non saturée et on peut considérer que les molécules sont stables en zone noyée.

Les nitrates migrent en première approximation à la même vitesse que l’eau, tandis que les pesticides migrent plus lentement voire très lentement.

Si on rajoute à l'eau des polluants, comme des pesticides ou des polluants organiques qui ont une forte affinité pour les composés argileux et organiques, se rajoutent aux processus de transfert hydrique les processus bio-physico-chimiques d'adsorption sur les composés argileux et organiques.

A l’inverse le lessivage de ces terrains par des eaux non chargées va produire des phénomènes de désorption (libération), et l’enrichissement de l’eau.

Ces processus d’adsorption et de désorption conduisent à la dégradation, très variable dans le temps d’une molécule à l’autre, en sous-produits parfois plus toxiques que la molécule mère.

La saison la plus favorable aux transferts des polluants au sein de la zone non saturée est donc lorsque le profil du sol est le plus humide, voire proche de la saturation. Cela se produit donc après des périodes pluvieuses successives et quand l’évapotranspiration est faible c’est-à-dire lors des pluies automnales et/ou hivernales. C’est également à cette période et sous ces mêmes conditions hydrologiques que se produit la recharge de la nappe des sables astiens.

Dans le cas des sables astiens, le transfert sera d’autant plus rapide que le recouvrement et les sables seront peu argileux et organiques. A l’inverse, dans un sol très argileux et riche en matière organique, le régime hydrique plus lent de circulation de l'eau, associé aux processus d'adsorption, va augmenter le temps de transfert et favoriser la dégradation des molécules.

6.5. Synthèse

Les suivis piézométriques sur la nappe des sables astiens montrent que la recharge de l'aquifère se fait préférentiellement avec des épisodes pluvieux significatifs à répétition. Les épisodes très intenses comme celui de fin 2014 paraissent moins contributifs au niveau de la nappe que les épisodes moyens mais répétés comme au printemps 2013 (succession d'épisodes significatifs) ou fin 2016 (un épisode intense puis plusieurs épisodes significatifs >50 mm).

Ainsi les épisodes forts mais uniques favoriseraient le ruissellement (et donc l'évacuation d'une partie de la lame d'eau précipitée vers l'aval) alors que des épisodes moyens successifs pourraient favoriser en plus de l'infiltration ponctuelle, l'alimentation répétée des zones d'accumulation potentiellement infiltrantes. A titre d'exemple, un épisode pluvieux de 150 mm qui se produirait à l'amont d'une zone d'accumulation susceptible d'infiltrer 20 mm, se traduirait par un ruissellement vers l'aval de 130 mm et par une recharge de 20 mm. Alors que trois épisodes répétés de 50 mm pourraient permettre l'infiltration de 60 mm par réalimentation successive des points bas. Selon cette hypothèse, les points bas constitueraient donc des points de vulnérabilité accrue puisqu'ils sont susceptibles de collecter les eaux après ruissellement et de les infiltrer.

La réalimentation de la nappe par l'Hérault, mise en évidence lors des pluies dans le secteur de Florensac/Bessan, génère une vulnérabilité accrue de ce secteur où la relation entre les alluvions et les sables est plus forte que pour les secteurs de Mèze et de Corneilhan où les échanges avec les eaux superficielles sont moins importants.

La bibliographie consacrée au transfert des polluants depuis la surface vers la nappe précise que la rapidité du transfert de masse des polluants peut être corrélée aux propriétés de la zone non saturée, à l'humidité du milieu et à l'intensité et la répétitivité des pluies. Ainsi les périodes de pluies répétées en automne et en hiver sont les plus propices à la migration de polluants vers la nappe.

7. CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ

La vulnérabilité intrinsèque est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. Elle caractérise la plus ou moins grande capacité de « défense » d'une nappe vis-à-vis d'une pollution. A la différence de la vulnérabilité spécifique, elle est indépendante du polluant.

7.1. Définitions

Pente : la pente d'un terrain va influencer la capacité de l'eau à s'infiltrer. Sur une pente forte, l'eau va avoir tendance à ruisseler alors que sur une pente faible, l'eau va avoir tendance à stagner et donc à s'infiltrer.

Lithologie : le type de roche présente à l'affleurement joue un rôle important dans l'infiltration en fonction de la présence d'argile, de sables, …

Recouvrement : ce paramètre permet de déterminer les secteurs qui présentent une protection naturelle vis-à-vis des pollutions de surface (secteurs où l'infiltration est minimisée ou ralentie). L'épaisseur des terrains qui recouvrent les sables astiens a été approchée en déterminant le nombre de couches (lithologies différentes) qui les recouvrent. Les secteurs où les sables sont situés sous plusieurs couches sont mieux protégés que les secteurs directement à l'affleurement.

Echange : l'alimentation par les eaux superficielles a été prise en compte en intégrant les alluvions des cours d'eau comme étant des zones d'infiltration préférentielle.

Zone de vulnérabilité : une vulnérabilité plus importante a été considérée sur les secteurs de vulnérabilité tel que définis dans l'étude de 2009 ; l'extension aux bassins versants présentant une vulnérabilité moindre.

Pédologie : la texture, l'épaisseur et la pierrosité du sol impactent directement sa capacité à laisser l'eau ruisseler ou s'infiltrer. Cette donnée a été acquise par le SMETA auprès de l'ACH34. L'essentiel du territoire est couvert à l'exception de larges bandes dans le secteur de Mèze et des zones urbanisées.

Point bas : les points bas sont les secteurs qui montrent une tendance à ralentir et concentrer les écoulements de surface et ils constituent donc des zones d'infiltration préférentielle.

L'ensemble de ces critères sont présentés sur les Figures 4.

7.2. Méthodologie générale

La méthodologie du BRGM (méthode DRASTIC), proposée dans le cahier des charges, visant à définir la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère des sables astiens sur les secteurs de vulnérabilité selon le croisement de critères prédéfinis, a servi de base de réflexion au développement d'une méthodologie plus adaptée au contexte de l'étude.

En effet, la méthodologie du BRGM a été ajustée afin de prendre en compte les aspects structuraux particuliers des secteurs d'étude, les modalités d'alimentation des sables astiens et les données disponibles.

Chaque étape de notre démarche et les résultats associés sont présentés successivement. Le croisement des différents critères de vulnérabilité a été fait selon différents scénarios donnant plus ou moins d'importance aux différents paramètres (pondérations des différents paramètres).

L'indexation des paramètres (3 à 5 classes) a été représentée graphiquement selon un camaïeu de vert, la carte résultante (5 classes) est symbolisée en termes de vulnérabilité croissante (vert, bleu, jaune, orange et rouge).

7.3. Classification des critères

7.3.1. Pente

La pente a été calculée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT), avec une résolution de 5 mètres. D'une manière générale, les résultats mettent évidence des valeurs de pente qui restent modérées. Afin de caractériser les différents secteurs sur l'aspect ruissellement ou infiltration, une répartition en trois classes représentative de la diversité des pentes a été mise en œuvre. Les trois classes de pentes définies sont précisées dans le tableau suivant :

Paramètre Pente : Classement des pentes par indice de vulnérabilité		
1	2	3
> 6 %	3 - 6 %	< 3 %

Tableau 4 : Classement des pentes par indice de vulnérabilité

7.3.2. Lithologie

La lithologie de la roche à l'affleurement a été déterminée à partir de l'étude de la carte géologique de la France du BRGM au 1/50 000 et un classement en indice de vulnérabilité a été réalisé :

Paramètre Lithologie : Classement de la roche à l'affleurement par indice de vulnérabilité				
1	2	3	4	5
Vases - limons	Argiles - marnes	Colluvions – alluvions anciennes	Grès, calcaires, alluvions récentes	Sables

Tableau 5 : Classement de la roche à l'affleurement par indice de vulnérabilité

La classification a été réalisée selon la capacité des terrains à l'infiltration et en prenant en compte le ruissellement pour les secteurs situés à l'amont des zones d'infiltrations (zone d'alimentation hors cours d'eau).

7.3.3. Recouvrement

L'épaisseur des couches géologiques dans le secteur n'est pas connue précisément. Afin d'approcher au mieux cette épaisseur, le choix a été fait de prendre le nombre de couches géologiques comme approximation de l'épaisseur de recouvrement. Ce paramètre a été déterminé à partir de l'interprétation de la carte géologique du BRGM au 1/50 000. L'analyse cartographique associée à la stratigraphie a permis de définir le nombre de couches recouvrant les sables astiens.

Paramètre Recouvrement : Classement du recouvrement par indice de vulnérabilité			
1	2	3	4
3 couches	2 couches	1 couche	Sable affleurant

Tableau 6 : Classement du recouvrement par indice de vulnérabilité

7.3.4. Echanges

Afin de prendre en compte les échanges entre les eaux superficielles (Hérault, Libron, Nègue Vacques), un indice de vulnérabilité supplémentaire a été ajouté **(indice +1)** sur les alluvions récentes de ces cours d'eau qui sont en contact direct avec les sables astiens. Ces secteurs ont été tracés à partir des cartes géologiques du BRGM au 1/50 000.

7.3.5. Zone de vulnérabilité

Un indice supplémentaire de vulnérabilité **(indice +1)** a été ajouté sur les zones de vulnérabilité (hors zone d'alimentation par ruissellement) comme zone d'infiltration préférentielle.

7.3.6. Pédologie

La pédologie a été traitée par l'analyse de la BDSol (ACH34). Le classement des sols en indice de vulnérabilité a été réalisé en deux étapes :

- dans un premier temps, la pierrosité du sol a été croisée avec sa texture afin de déterminer sa nature ;
- dans un second temps, la nature du sol a été croisée avec son épaisseur pour déterminer l'indice de vulnérabilité du paramètre.

		Texture du sol				
		1 Très argileux	**2 argileux**	**3 Equilibré**	**4 assez sableux**	**5 très sableux**
Pierrosité	**1 < 15 %**	1	1	2	2	3
	2 15 - 30 %	1	2	2	3	4
	3 30 - 45 %	2	2	3	4	4
	4 45 - 60 %	2	3	4	4	5
	5 > 60 %	3	4	4	5	5

Tableau 7 : Croisement de la texture avec la pierrosité du sol

		Nature du sol				
		1	2	3	4	5
Epaisseur	**1 < 80 cm**	1	2	3	4	5
	2 80 - 100 cm	2	2	3	4	5
	3 100 - 120 cm	3	3	3	4	5
	4 120 - 150 cm	4	4	4	4	5
	5 > 150 cm	5	5	5	5	5

Tableau 8 : Croisement de l'épaisseur avec la nature du sol - Classement en indice de vulnérabilité

La classification de la texture, de la pierrosité et de l'épaisseur est adaptée de celle réalisée par l'ACH dans le document d'accompagnement de la base de données.

La texture des sols conditionne directement leur capacité à se laisser percoler. Un sol qui présente une nature sableuse permet à l'eau de pluie de s'infiltrer rapidement. A l'inverse un sol argileux restreint la proportion d'eau qui peut s'infiltrer, l'eau va donc ruisseler.

Sur les secteurs urbanisés aucune information sur la pédologie n'est disponible. Sur le secteur de Mèze une large partie de la zone n'est pas couverte par les données de pédologie (données inexistantes dans la BDSol).

7.3.7. Points bas

Les points bas (zones d'accumulation) ont été déterminés à partir du modèle numérique de terrain en relation avec le bureau d'études OTEIS, afin de déterminer les secteurs qui favorisent l'infiltration. Deux méthodes ont été utilisées :

- **TopModel** : cette méthode a été développée pour déterminer les zones d'accumulations des neiges en montagne et estimer le risque d'avalanche. Ce modèle est aussi utilisé en hydrologie pour déterminer les zones d'accumulation des eaux de surface : points bas qui ralentissent les écoulements ;

- **Indice de courbure** : cette méthode permet d'estimer la capacité d'un secteur à ralentir et à concentrer les écoulements superficiels, ou à l'inverse, à les accélérer et à les disperser. Les secteurs qui ralentissent et concentrent les écoulements sont théoriquement les secteurs où l'infiltration est plus importante.
  La courbure verticale représente la concavité et la convexité de la pente. Une pente à courbure convexe correspond à une accélération des écoulements alors qu'une décélération est représentée par une pente à courbure concave.
  La courbure horizontale donne les caractéristiques de convergence ou de divergence des écoulements. Une courbure horizontale convexe correspond à une dispersion des écoulements alors qu'une courbure horizontale concave montre une concentration des écoulements.
  Un schéma des formes caractéristiques déterminant l'indice de courbure est présenté ci-après.

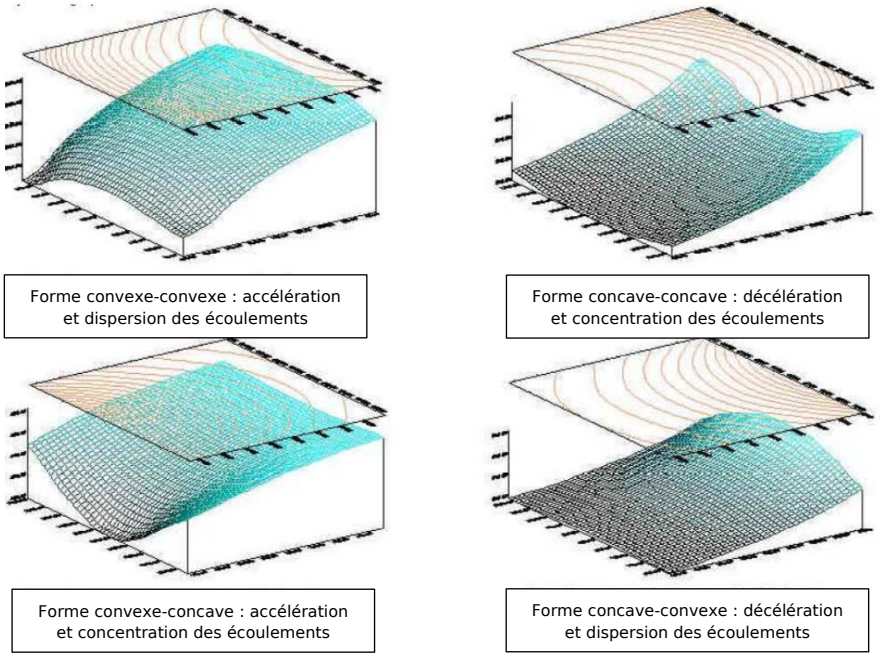


Illustration 2 : Schéma des formes caractéristiques déterminant l'indice de courbure

Les résultats du traitement avec ces deux modèles et leur reclassification en indice de vulnérabilité présentaient un certain « bruit » qu'une analyse de densité (par SIG) a permis de limiter (prise en compte de la valeur de vulnérabilité la plus présente). L'analyse de densité consiste à rechercher sur une surface élémentaire la valeur la plus présente et à l'affecter à la totalité de la surface. Ainsi une valeur « atypique », qui génère du bruit, va être écartée au profit de valeurs plus représentatives du secteur. Dans le cas présent, l'analyse de densité a été réalisée sur une surface élémentaire de 2 500 m^2, soit une résolution du pixel de 50x50m.

Ces deux méthodes ont ensuite été combinées dans le paramètres « Point Bas » (addition des deux modèles et reclassification en indice de vulnérabilité), afin d'identifier les zones de concentration des eaux de ruissellement ou les bassins endoréiques.

7.4. Croisement des critères

7.4.1. Approche méthodologique

La méthodologie employée pour déterminer la vulnérabilité intrinsèque des sables astiens sur les secteurs d'affleurement est inspirée de celle développée par le BRGM pour les milieux continus. Elle implique le croisement de plusieurs paramètres qui permettent de définir la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère. La cartographie de la vulnérabilité ainsi réalisée permet de caractériser l'infiltration sur les différents secteurs. L'ensemble des paramètres ainsi que les croisements opérés sont présentés ci-après.

Une première version de la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des sables astiens (cf. Figures 5) a été réalisée en adaptant le plus fidèlement possible la méthodologie du BRGM avec les données existantes ou facilement approchables. Les paramètres pris en compte et les pondérations associées étaient :

- Pente (25 %),
- Lithologie (30 %),
- Recouvrement (30 %),
- Echanges (10 %),
- Zone de vulnérabilité (5 %).

Lors de la présentation au COPIL n° 1 (16/09/2016), il est apparu que cette cartographie ne permettait pas une discrétisation suffisante des secteurs les plus vulnérables sur les zones d'affleurements des sables astiens. Il a donc été décidé d'ajouter deux nouveaux critères : la pédologie (donnée partielle qui a dû être acquise par le SMETA) et les points bas pour traiter les zones d'accumulation des eaux de ruissellement, lieu privilégié de l'infiltration.

La première cartographie (critères hydrogéologiques) a ainsi été croisée avec ces deux nouveaux paramètres – VERSION 1 - et différentes pondérations ont été testées (cf. § 7.4.2.). Le logigramme ci-après donne un exemple de croisement.

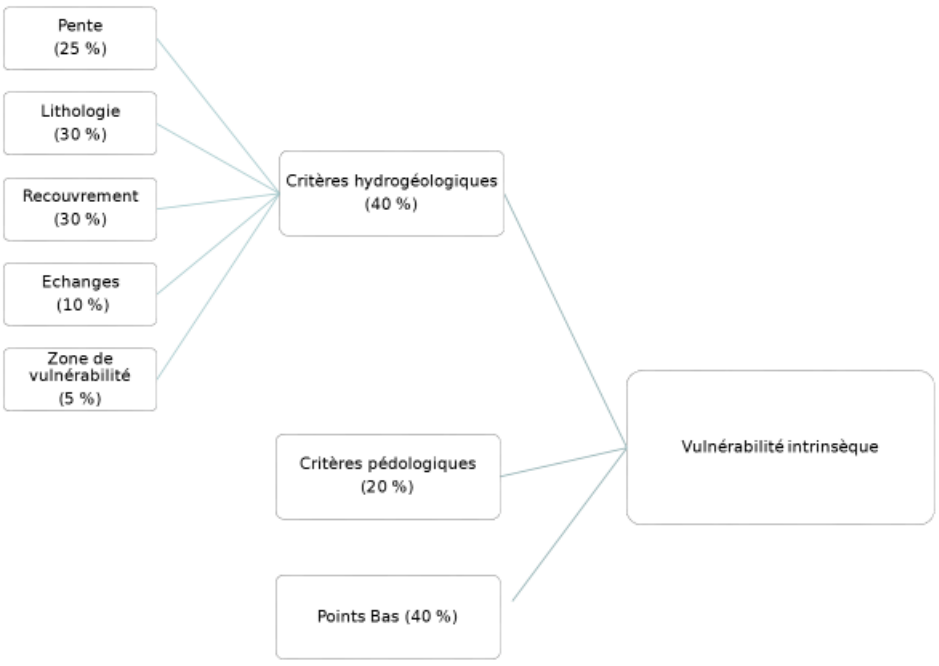


Illustration 3 : Diagramme de pondération - Version 1

Pour les secteurs où les données pédologiques sont inexistantes, seuls les paramètres « Hydrogéologie » et « Points Bas » ont été pris en compte à poids égal.

Suite à différents échanges, le SMETA nous a demandé de réaliser une cartographie de la vulnérabilité prenant en compte directement l'ensemble des paramètres utilisés – VERSION 2 - (ajout des paramètres en un seul croisement). Différentes hypothèses de pondérations ont été réalisées (cf. § 7.4.2.). Les logigrammes ci-après donnent un exemple de croisement où la pédologie est disponible.

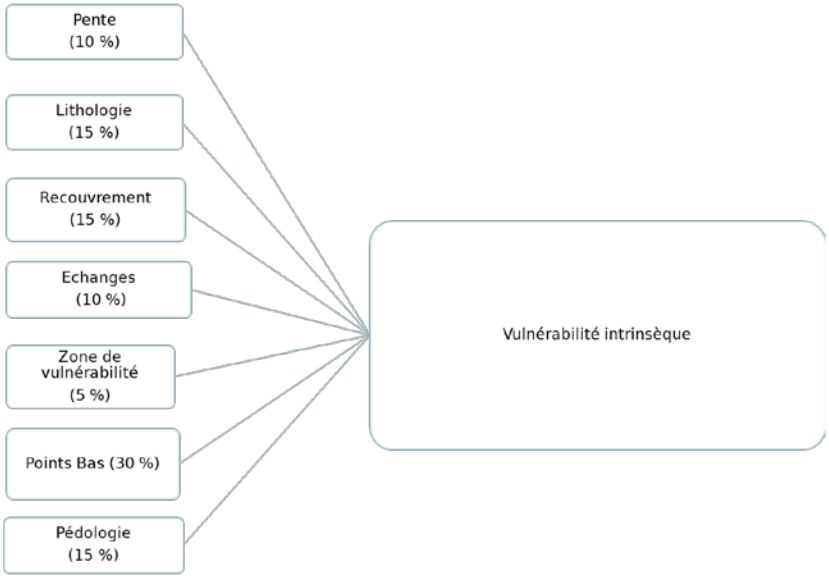


Illustration 4 : Diagramme de pondération - Version 2 avec pédologie

Lorsque la pédologie n'est pas disponible, son poids dans le croisement a été réparti selon différentes hypothèses sur les autres critères. Le logigramme ci-après donne un exemple de croisement pour les secteurs où la pédologie n'est pas disponible.

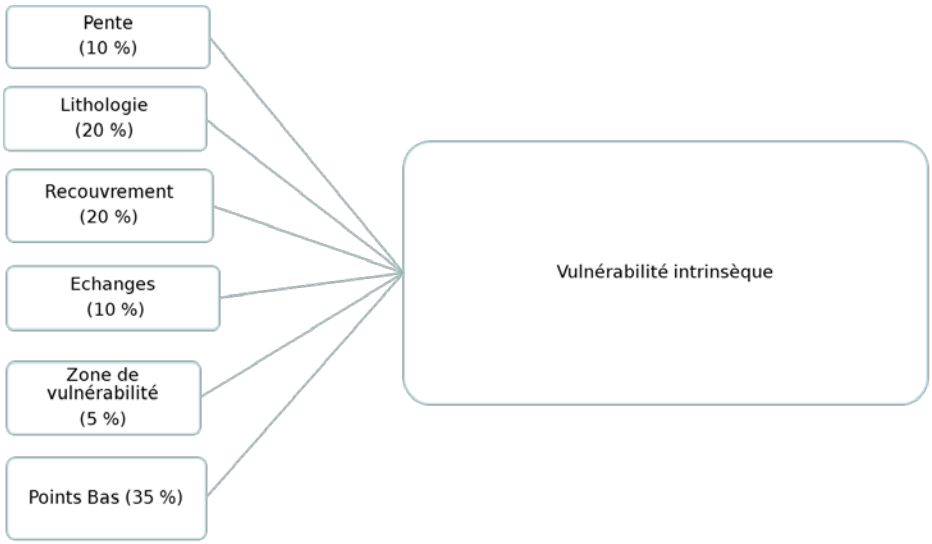


Illustration 5 : Diagramme de pondération - Version 2 sans pédologie

7.4.2. Modulation des pondérations

Le croisement de ces paramètres a été réalisé sous système d'information géographique (SIG), en s'inspirant de la méthode de pondération du BRGM. Ce croisement permet d'obtenir un indice de vulnérabilité globale pour chaque pixel de la zone.

Un premier croisement a été opéré afin de déterminer le critère « Hydrogéologie » (pente, lithologie, recouvrement, échanges et zone de vulnérabilité), puis ce critère a été combiné aux critères « Pédologie » et « Points Bas » – VERSION 1 -.

Sur les secteurs présentant l'ensemble des critères, plusieurs hypothèses de pondérations ont été simulées :

Pondération	Critères hydrogéologiques	Critères pédologiques	Points Bas
1	0,40	0,20	0,40
2	0,40	0,25	0,35
3	0,40	0,30	0,30

Tableau 9 : Modulation des pondérations - Version 1

Ces différentes hypothèses de pondération ont abouti à l'obtention de cartes assez proches permettant toutefois de discrétiser les classes de vulnérabilité « hydrogéologique » soit en soulignant les critères pédologiques, soit les points bas. Les cartographies résultantes des différentes hypothèses sont présentées en Figures 6).

Sur les secteurs où les valeurs de pédologie sont absentes, seuls les paramètres « Hydrogéologie » et « Points Bas » ont été pris en compte à poids égal (afin d'approcher la pondération retenue pour les secteurs où elles sont présentes).

Les hypothèses de pondérations du **second croisement** (VERSION 2 – prise en compte de l'ensemble des paramètres en un seul croisement) sont présentées dans le tableau ci-après :

Paramètre	Pondération 1'		Pondération 2'		Pondération 3'	
Données pédologie	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence
Pente	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10
Lithologie	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Recouvrement	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Echanges	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,10
Zone de Vulnérabilité	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,10
Pédologie	0,15	-	0,10	-	0,20	-
Points bas	0,30	0,35	0,20	0,25	0,20	0,30

Tableau 10 : Modulation des pondérations - Version 2

Pour les secteurs sans données de pédologie, la pondération de ce paramètre a été répartie sur les autres paramètres en conservant la même logique de pondération.

Ces différentes pondérations sont présentées sur les Figures 7.

La valeur finale de vulnérabilité varie entre 1 (vulnérabilité minimale) et 5 (vulnérabilité maximale), une subdivision de cette valeur est alors réalisée afin de classer l'ensemble des pixels (reclassification indépendante entre les secteurs avec et sans données de pédologie).

Une vérification des incohérences flagrantes entre la carte finale et les cartes des différents paramètres a permis la validation da la cartographie de la vulnérabilité.

7.5. Résultats

Les différentes cartographies de la vulnérabilité intrinsèque des sables astiens (différentes hypothèses de pondération) font apparaitre des zones de très forte vulnérabilité sur les secteurs où les sables astiens sont présents à l'affleurement et qui sont susceptibles de présenter une infiltration préférentielle (Points Bas, sol infiltrant peu épais et zone d'échanges avec les eaux superficielles).

Les zones les moins vulnérables correspondent aux secteurs avec un recouvrement important et/ou qui présentent un facteur de ruissellement important (pente et/ou pédologie non infiltrante).

Les différentes pondérations de la VERSION 1 de la cartographie de la vulnérabilité montrent une certaine homogénéité des résultats : les secteurs les plus vulnérables sont situés sur les sables astiens à l'affleurement présentant des zones d'accumulation, la pédologie étant moins marquée. Dans le détail, les pondérations n° 2 et 3 ont tendance à sous-estimer la vulnérabilité sur certains secteurs en comparaison avec la pondération n° 1.

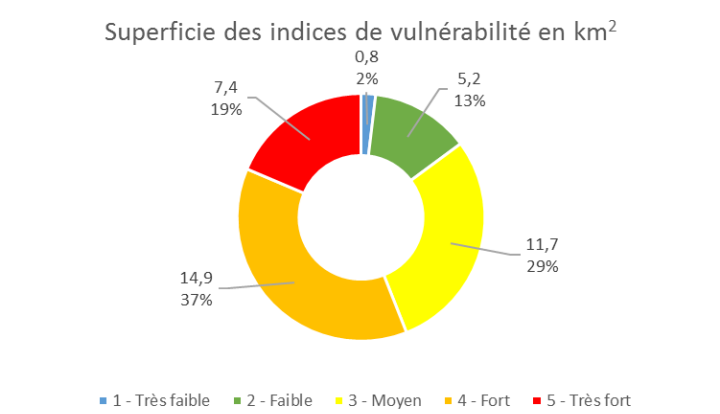
Concernant la VERSION 2 de la cartographie de la vulnérabilité, les observations qui peuvent être faites sur les différentes pondérations sont :

- pondérations 1' : permettent un résultat cohérent avec les contextes géologiques et hydrogéologiques sur les différents secteurs ;
- pondérations 2' : entraînent une baisse de la vulnérabilité sur les secteurs qui présentent une vulnérabilité moyenne à faible avec les autres hypothèses de pondération ;
- pondération 3' : cette pondération fait perdre la notion d'échange entres les eaux superficielles et les eaux souterraines (alluvions de l'Hérault et du Libron).

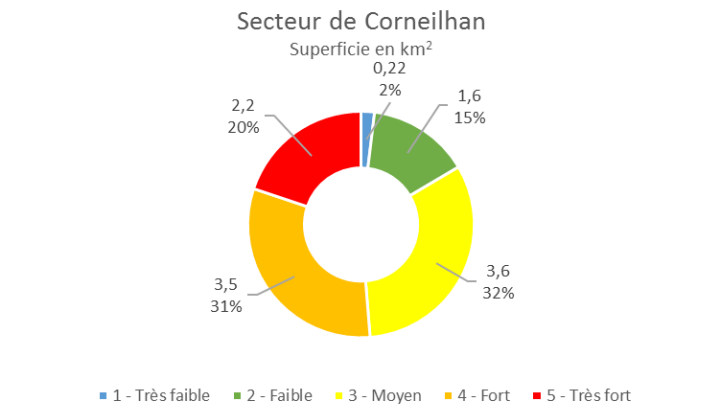
D'une manière générale, la VERSION 2 de la cartographie de la vulnérabilité a tendance à sous-estimer la vulnérabilité de certains secteurs qui pourraient se révéler sensibles, en comparaison avec la VERSION 1 qui consiste en une version plus « sécuritaire ».

Compte tenu de ces éléments nous proposons de retenir la pondération n° 1 de la VERSION 1 de la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque qui, selon nous, permet la discrétisation la plus réaliste des secteurs où les sables astiens sont affleurants sans sous-estimer certains secteurs potentiellement sensibles au regard des autres paramètres. Elle nous paraît présenter un juste équilibre entre les caractéristiques physiques de l'aquifère et les zones d'accumulation croisées à pondération égale d'une part et le paramètre pédologie, plus évolutif dans le temps notamment par les activités anthropiques, qui est intégré avec un poids légèrement plus faible d'autre part.

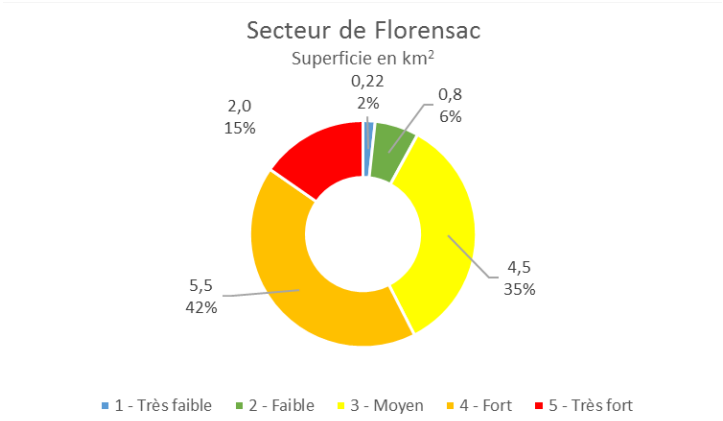
Les superficies des différentes classes de vulnérabilité selon cette hypothèse sont représentées graphiquement ci-après.



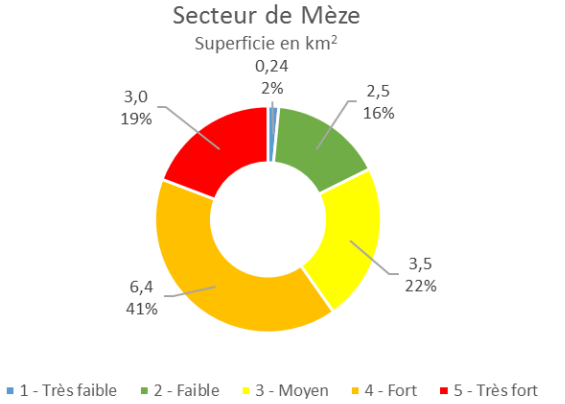
Graphique 10 : Superficie des différentes classes de vulnérabilité sur la zone d'étude - Version 1, pondération 1



Graphique 11 : Superficie des différentes classes de vulnérabilité sur le secteur de Corneilhan - Version 1, pondération 1



Graphique 12 : Superficie des différentes classes de vulnérabilité sur le secteur de Florensac - Version 1, pondération 1



Graphique 13 : Superficie des différentes classes de vulnérabilité sur le secteur de Mèze - Version 1, pondération 1

L'analyse de la répartition des surfaces des différentes classes de vulnérabilité met en évidence que sur l'ensemble de la zone d'étude, les secteurs moyennement et fortement vulnérables représentent environ 65% de la surface totale. Les secteurs de très forte vulnérabilité représentent moins de 20%.

On observe une répartition globalement équivalente des classes de vulnérabilité d'un secteur à l'autre. Sur les trois secteurs, les zones moyennement et fortement vulnérables sont prépondérantes, notamment sur le secteur de Florensac où elles représentent plus de 75%.

7.6. Réserves

Cette carte de la vulnérabilité intrinsèque théorique rend compte d'un état de vulnérabilité statique de l'aquifère des sables astiens et ne prend pas en compte l'existence des perturbations anthropiques : modification des écoulements de la nappe causées par les pompages, imperméabilisation au niveau des zones urbanisées, travail du sol en rapport avec l'agriculture, remblais divers.

Cette carte ne prend pas en considération **les forages** qui recoupent le niveau aquifère des sables astiens et qui, mal protégés, permettent une entrée directe des eaux superficielles dans l'aquifère et donc des polluants qu'elles contiennent potentiellement après ruissellement et lessivage des sols. Il en est de même pour les forages défaillants qui peuvent mettre en relation la nappe des sables avec des niveaux superficiels potentiellement contaminés. Pour les forages, c'est l'ensemble de la nappe qui est concerné par ces points de pollution ponctuelle potentielle y compris la partie captive.

De même, les affouillements, comme **les anciennes carrières, les bassins d'orage**, etc., susceptibles de concentrer les eaux de ruissellement et donc de les infiltrer ne sont pas pris en compte.

Le croisement des différents paramètres sous SIG a entrainé une modification de l'indice de vulnérabilité sur certains pixels situés en bordure des secteurs d'étude. Ces pixels ne sont donc pas à prendre en compte mais ne faussent nullement les conclusions qui peuvent être tirées de l'étude de la carte finale.

7.7. Zones ponctuelles de vulnérabilité

D'anciennes sablières sont présentes dans le secteur sur les sables astiens à l'affleurement. Dans ces secteurs, les sables sont donc présents sans aucun recouvrement (décapage du sol), ce sont donc des secteurs **de très forte vulnérabilité** car l'infiltration des eaux de surface est directe et concentrée.

L'existence de **deux bassins d'orage** situés à l'Ouest et au Sud-Ouest de Florensac nous a été signalée lors du COPIL n° 2 par la CABM. Considérant que ces lieux de collecte et d'infiltration préférentielle n'étaient pas suffisamment mis en évidence par l'analyse des zones d'accumulation, il a été décidé de les ajouter en tant que point vulnérabilité ponctuelle.

Les bassins versants théoriques de ces sablières et bassins ont été superposés à la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque sur les Figures 8b et 8c ; aucune sablière n'a été répertoriée sur le secteur de Corneilhan, la vulnérabilité intrinsèque seule est donc cartographie sur la Figure 8a.

8. COMPARAISON AVEC LES MESURES DE TERRAIN

Des campagnes de terrain, réalisées dans la cadre d'un stage MASTER 1 (Romane BERTHELIN) encadré par le SMETA, ont permis d'effectuer des mesures ponctuelles sur les sables astiens dans les secteurs de vulnérabilité : épaisseur et nature du recouvrement, profondeur des sables astiens et perméabilité des sables et/ou du recouvrement.

Les secteurs concernés par cette étude sont principalement voués à l'agriculture. Le travail de la terre (labour) modifie la structure du sol sur plusieurs dizaines de centimètres et constitue l'épaisseur de « terre végétale ». Les mesures réalisées montrent que sous cette terre de surface se développent majoritairement des terrains sablo-argileux.

Les sables astiens (quand ils ont été trouvés) sont présents à plus ou moins relativement grande profondeur.

Les mesures de perméabilité réalisées sur les terrains recouvrant les sables astiens montrent que la plupart (65 %) présente une faible aptitude à l'infiltration.

Cependant, malgré la présence de ces terrains recouvrant localement les sables astiens, leur nature majoritairement sableuse et dans certains cas leur épaisseur limitée n'empêche pas l'infiltration et ne garantit donc pas une protection efficace des sables, notamment vis-à-vis de molécules assez stables dans le temps qui ne sont pas ou peu dégradées lors de l'infiltration.

La comparaison de ces points de mesure avec la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des sables astiens met en évidence que les points où les sables ont été trouvés à de faibles profondeurs correspondent à des secteurs de fortes à très fortes vulnérabilité.

Sur les secteurs les plus vulnérables structurellement, notamment dans les zones d'accumulation, la réalisation d'échantillonnages supplémentaires à la tarière pourrait permettre de définir plus précisément les horizons qui recouvrent les sables astiens et de vérifier leur vulnérabilité intrinsèque théorique.

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des sables astiens (VERSION 1 – pondération n° 1) avec les points d'échantillonnage des sables astiens réalisés est présentée en Figures 9.

9. CONCLUSION

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des sables astiens, suivant une analyse multicritère qui se base sur la détermination du potentiel d'infiltration, a permis de mettre en évidence les zones qui participent théoriquement majoritairement et le plus directement à l'alimentation de l'aquifère. Elles constituent donc théoriquement les zones les plus vulnérables intrinsèquement.

L'analyse comparative des chroniques pluviométriques et piézométriques a montré que, plus que l'intensité des épisodes, qui doit toutefois être suffisante pour permettre la mise en eau des zones d'accumulation, c'est leur répétitivité qui permet la recharge efficace de la nappe par infiltration préférentielle au niveau des points bas et par les relations avec l'Hérault ou sa nappe alluviale. Lors d'un épisode pluvieux très intense et isolé, l'essentiel de la lame d'eau précipitée ruissèle vers l'aval et seul une faible partie peut s'infiltrer dans les zones d'accumulation.

Les différentes cartographies réalisées (différentes hypothèses de pondération) présentent comme zones les plus vulnérables, les secteurs des sables astiens situés à l'affleurement où les écoulements de surface sont ralentis et concentrés (points bas) et où la pédologie favorise l'infiltration.

Différentes pondérations ont été testées afin de déterminer la plus adaptée au contexte de l'étude. Nous proposons de retenir la pondération n° 1 de la VERSION 1 de la cartographie de la vulnérabilité qui, selon nous, permet la meilleure représentativité des secteurs les plus vulnérables sans perte d'information.

Montpellier, le 17 août 2017

Thomas LOUPIAC

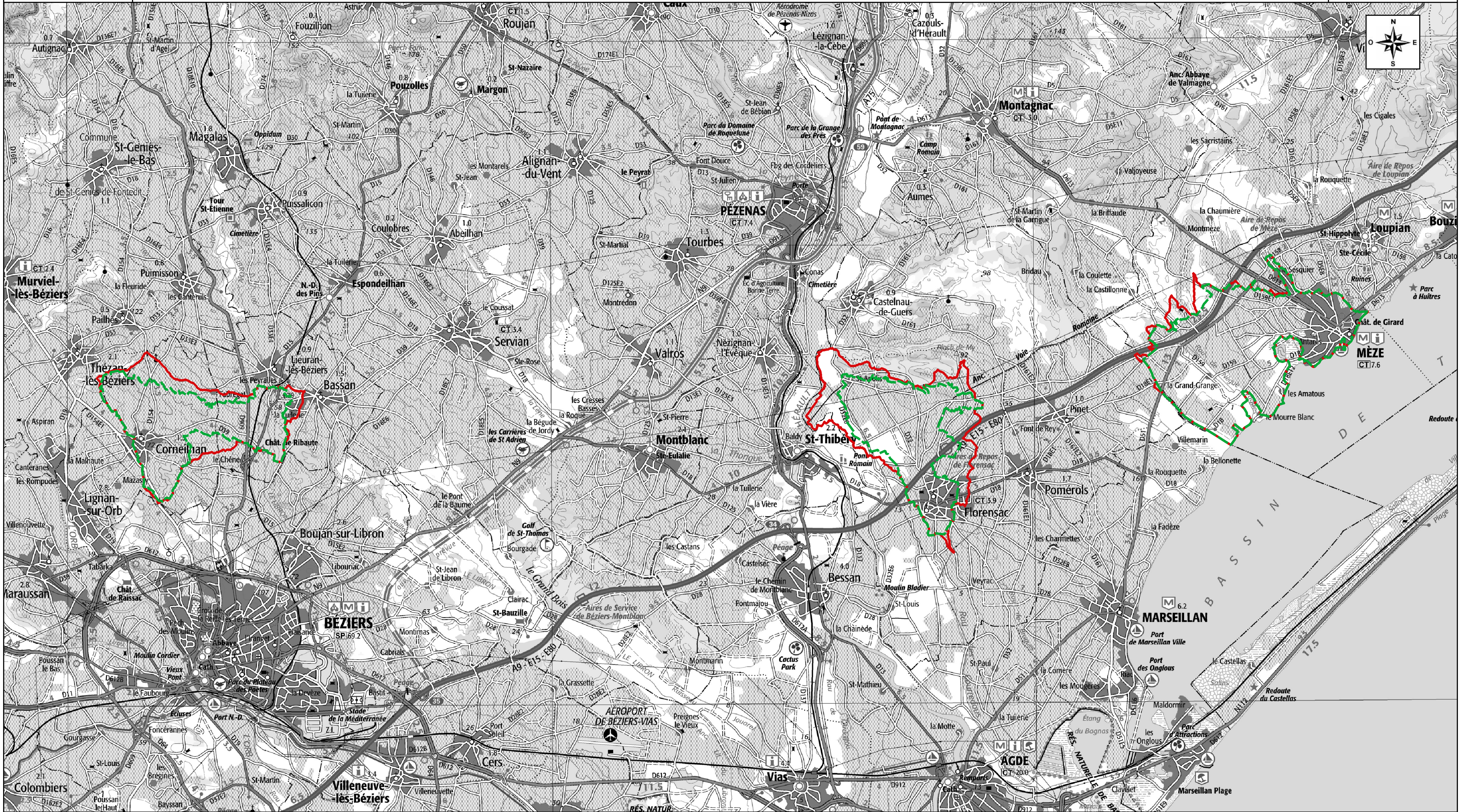
Guillaume LATGÉ

FIGURES

berga sud

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

1a



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/100 000

- Zone de vulnérabilité
- Zone de vulnérabilité étendue au bassin versant hors cours d'eau

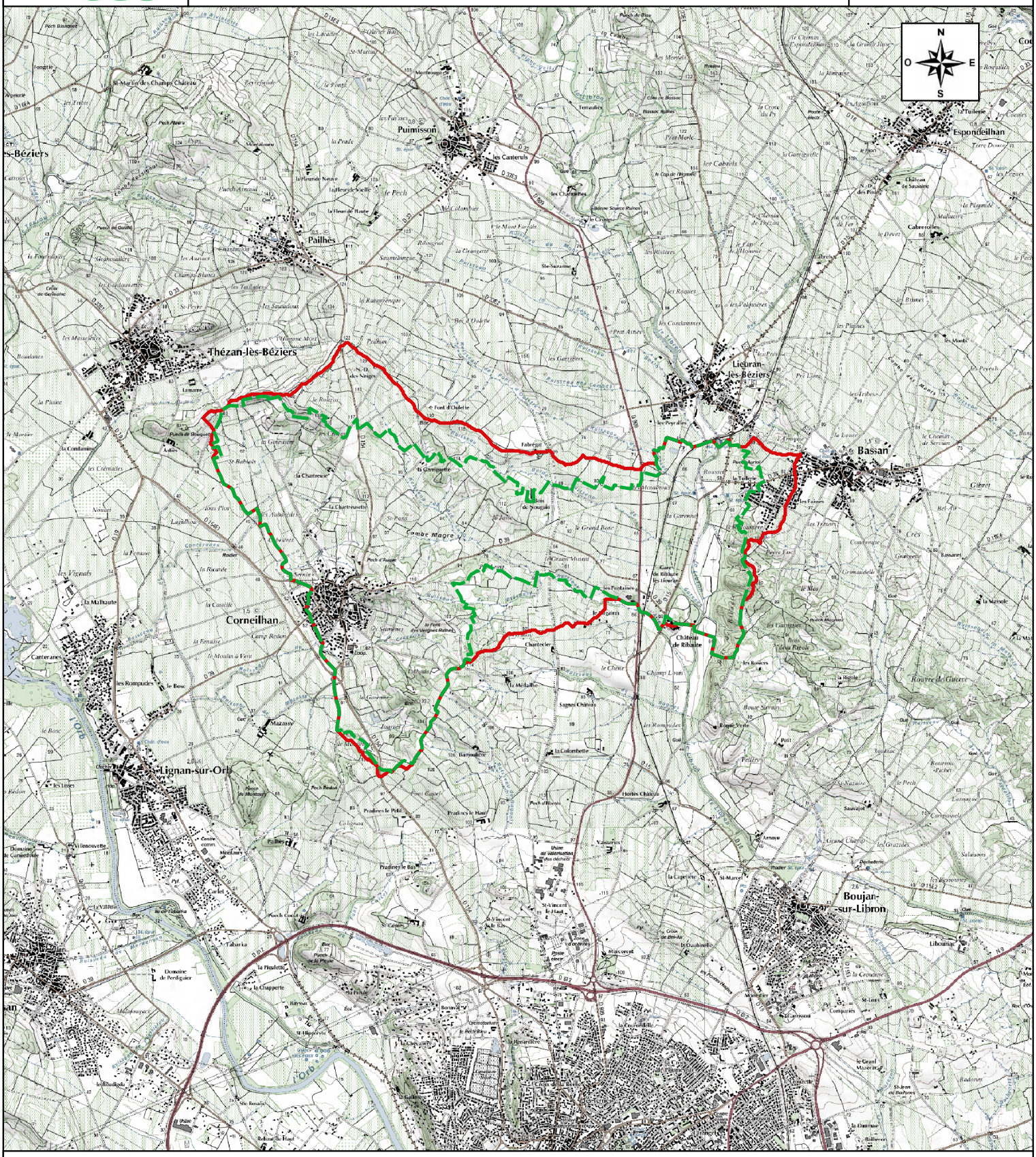
0 2 4 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

SITUATION GÉOGRAPHIQUE
- secteur de Corneilhan -

1b



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- RÉDUCTION AU 1/50 000 -

Zone de vulnérabilité

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

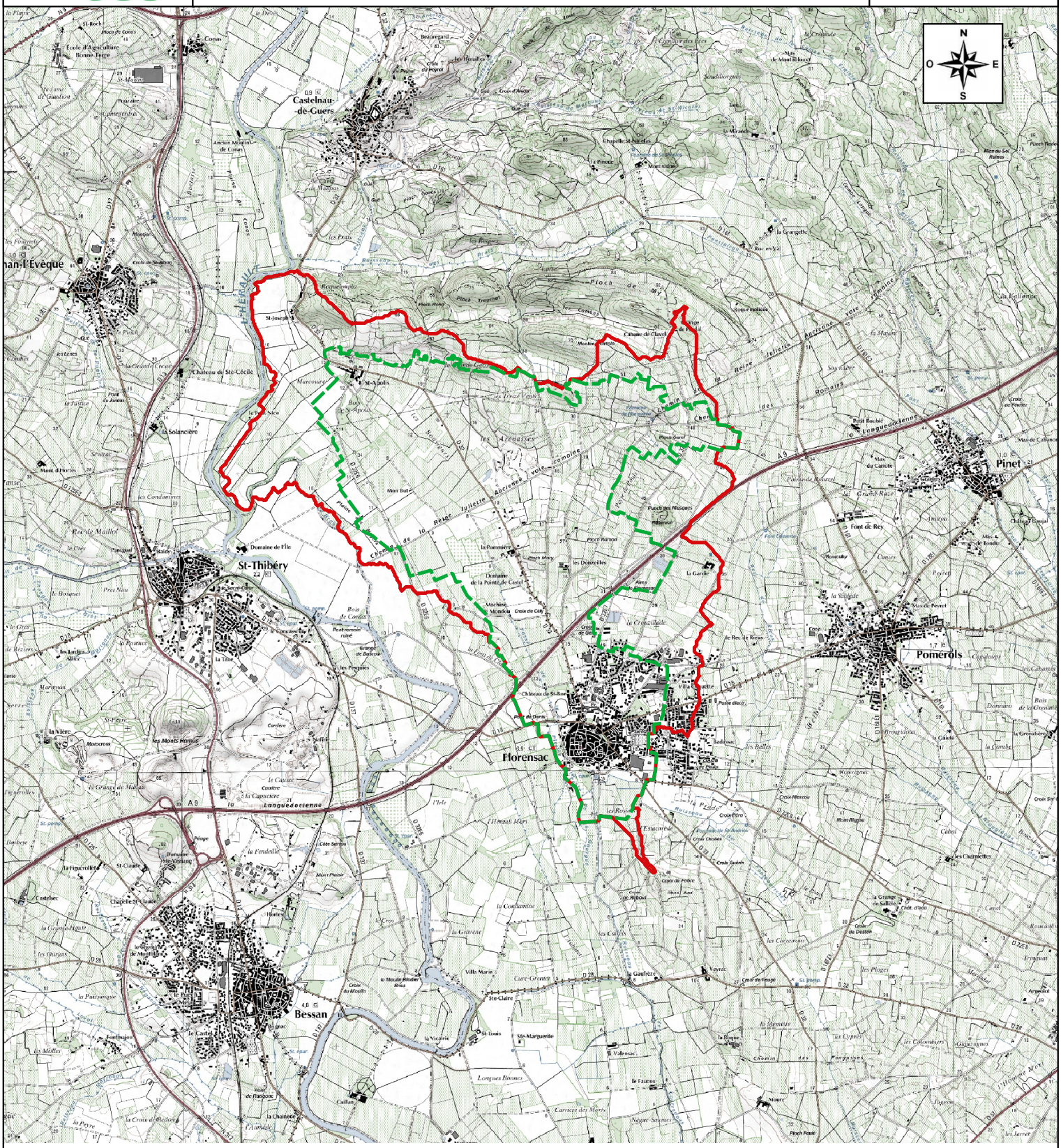
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

SITUATION GÉOGRAPHIQUE
- secteur de Florensac -

1c



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- RÉDUCTION AU 1/50 000 -

Zone de vulnérabilité

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

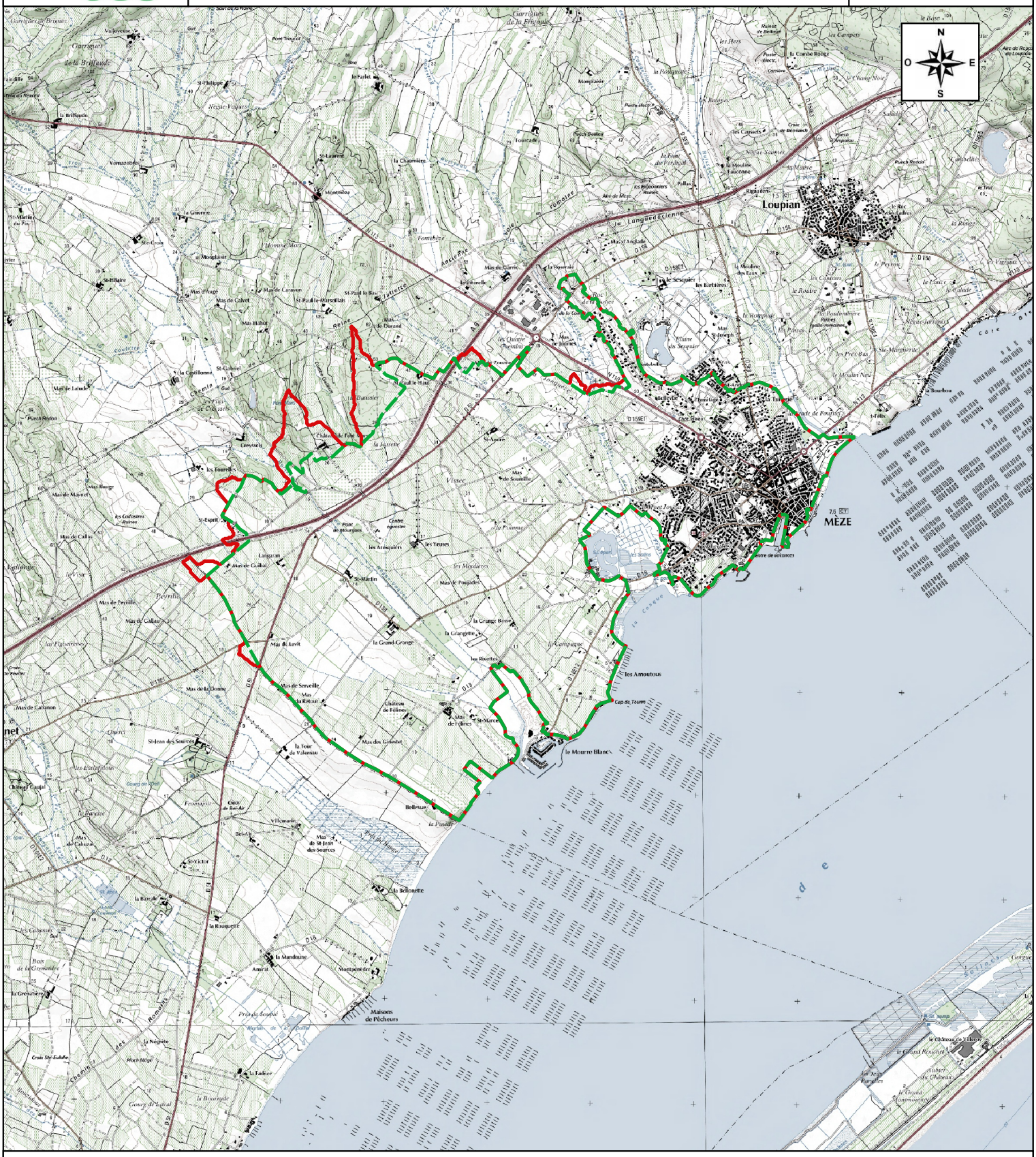
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

SITUATION GÉOGRAPHIQUE
- secteur de Mèze -

1d



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- RÉDUCTION AU 1/50 000 -

Zone de vulnérabilité

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLGIQUE DE LA FRANCE DU BRGM AU 1/250 000 - FEUILLE N°38 MONTPELLIER
- AGRANDISSEMENT AU 1/100 000 -

Zone de vulnérabilité

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

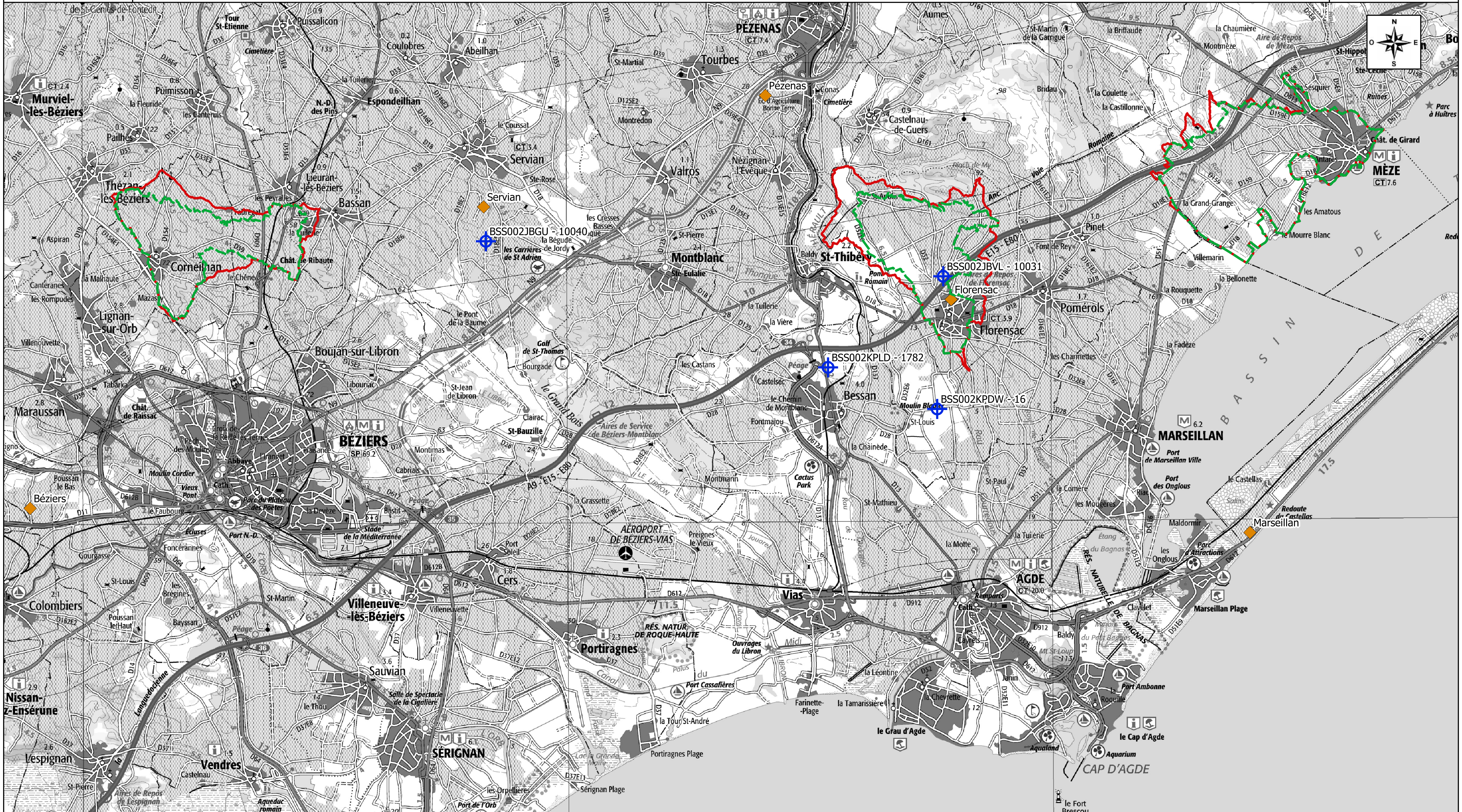
0 2 4 km

Fz	Alluvions récentes	Fw	Alluvions du Quaternaire moyen	pM	Pliocène marin -	e3-4	Eocène inférieur
C6-7	Crétacé Bédugo-rognacien	Fx-y	Alluvions des basses terrasses	pC	Pliocène continental	m	Miocène
e1-2	Eocène - Vitrollien						

berga sud

SITUATION GÉOGRAPHIQUE
- localisation des piézomètres et stations météorologiques -

3



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/100 000

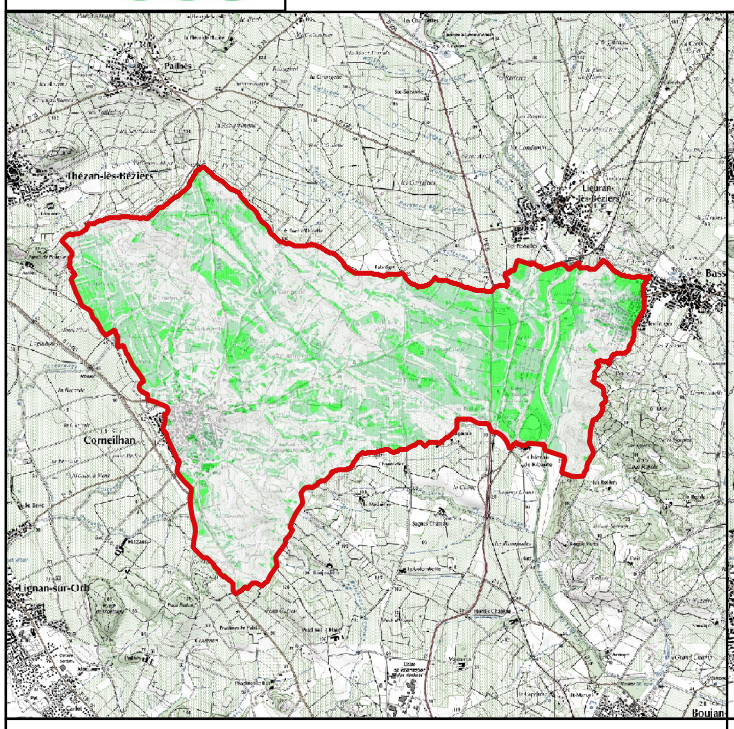
Zone de vulnérabilité — Zone de vulnérabilité étendue au bassin versant hors cours d'eau — Piézomètre — Station météorologique

0 2 4 km

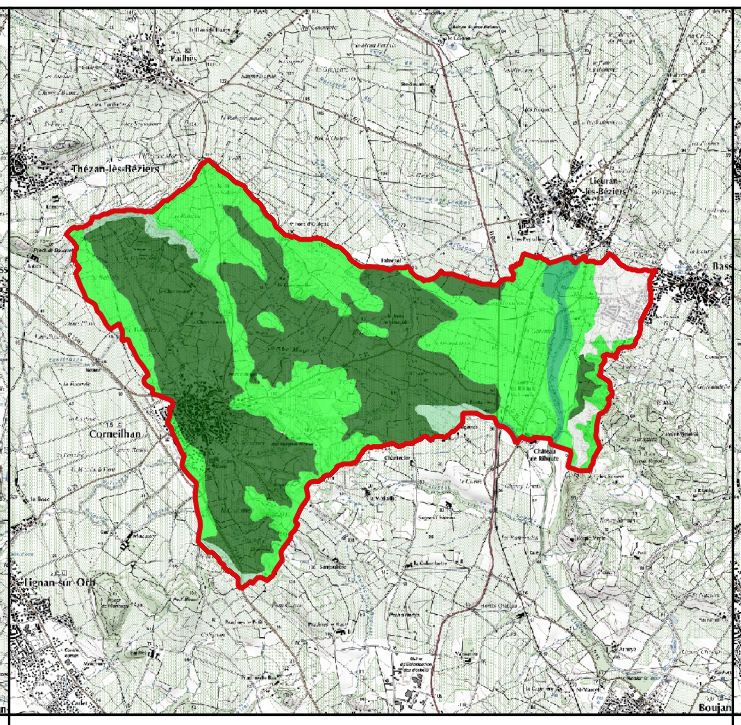
BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

CRITÈRE - SECTEUR DE CORNEILHAN

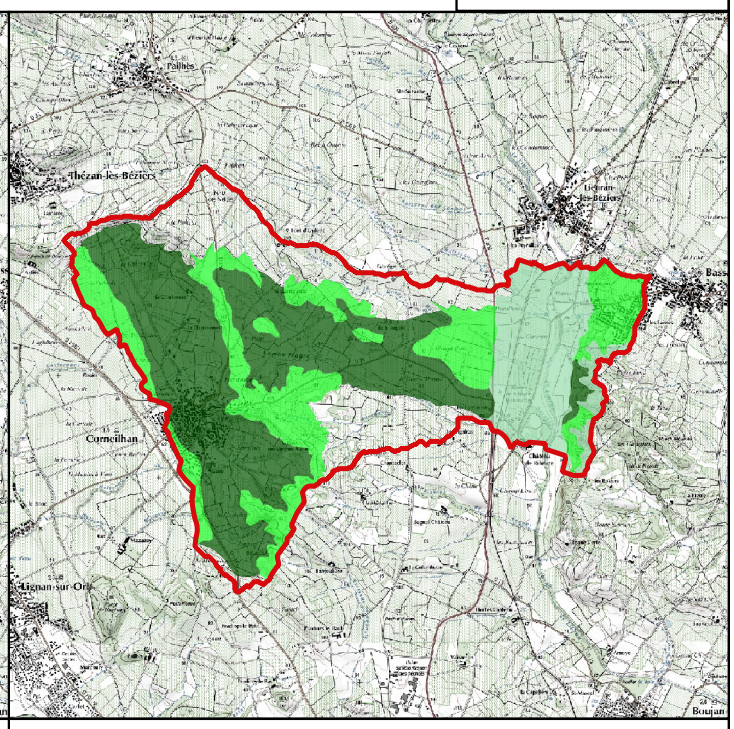
4a



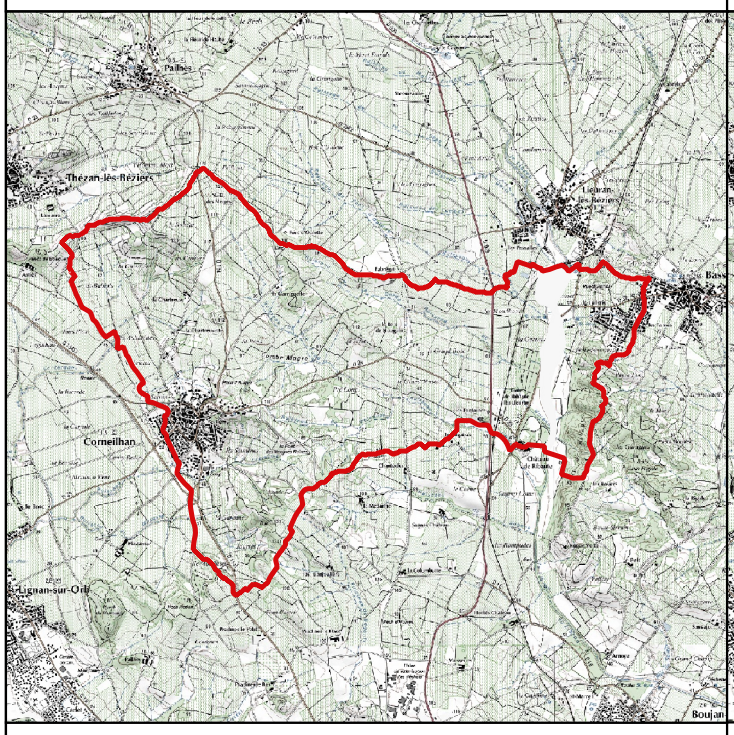
Critère "Pente"



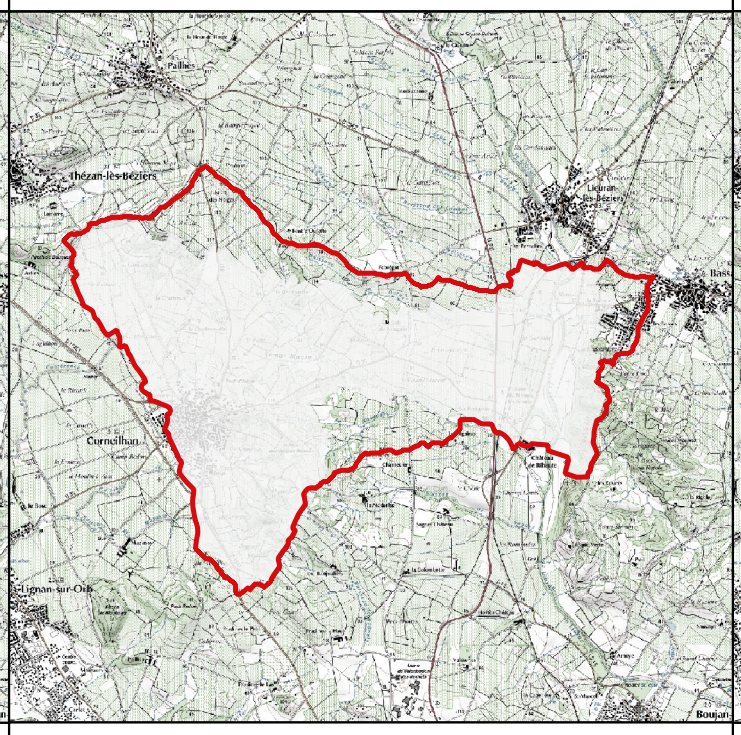
Critère "Lithologie"



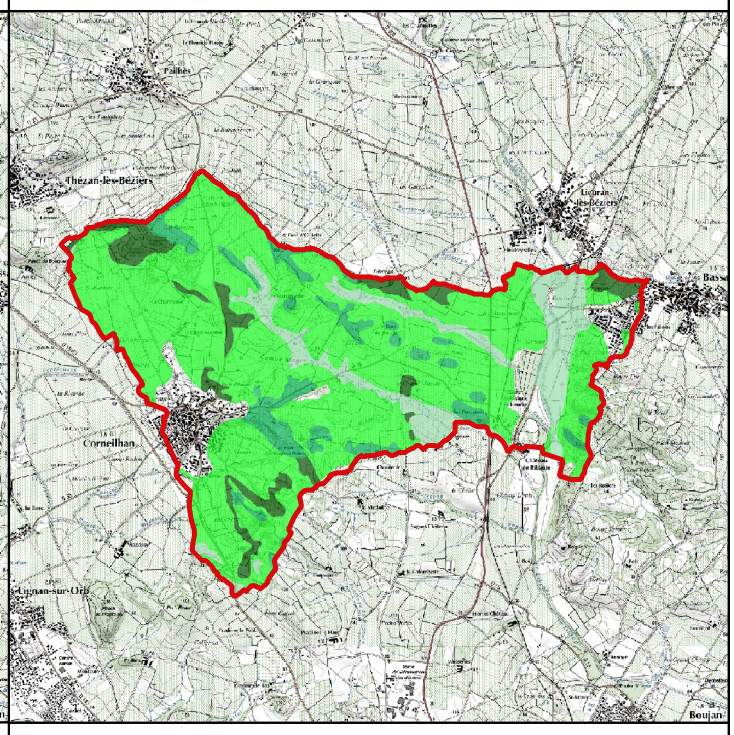
Critère "Recouvrement"



Critère "Echanges"



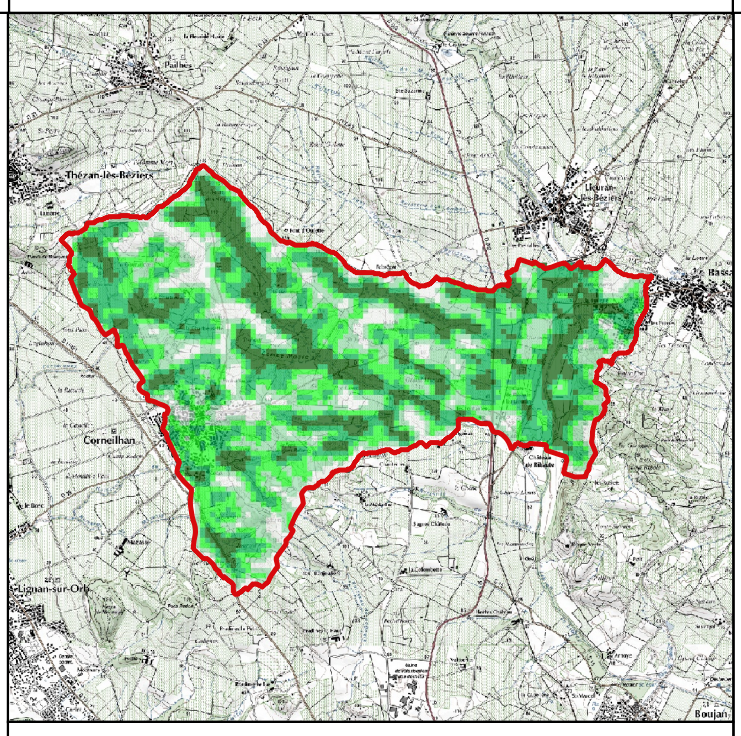
Critère "Zone de Vulnérabilité"



Critère "Pédologie"

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort



Critère "Points Bas"

0 1 2 3 4 km

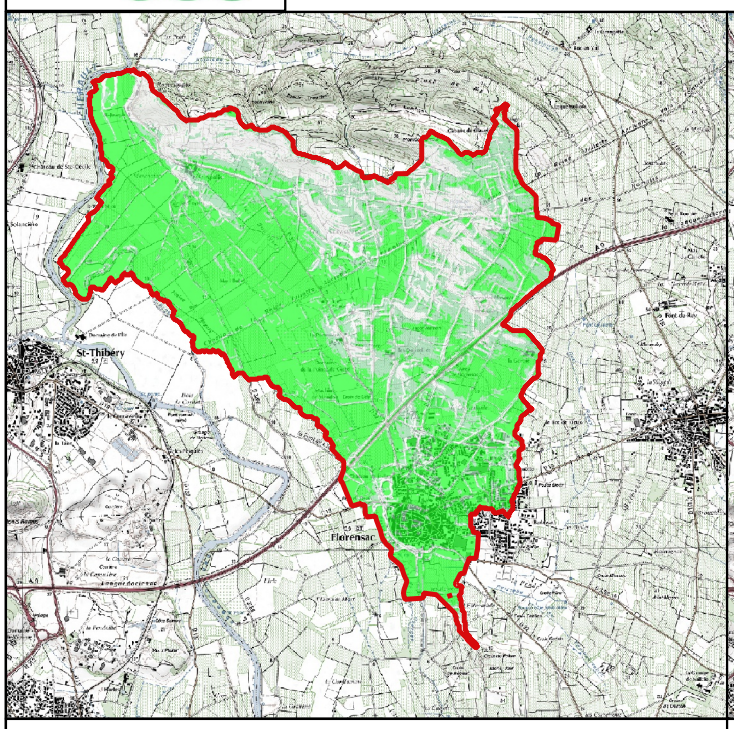
EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES NUMÉRISÉS DE L'IGN AU 1/25 000
- RÉDUCTION AU 1/75 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

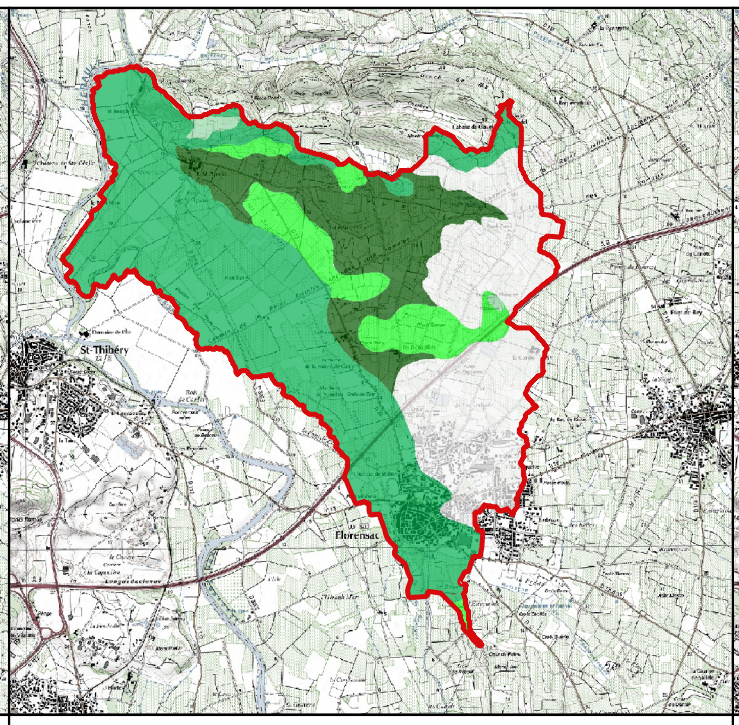
BERGA Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

CRITÈRE - SECTEUR DE FLORENSAC

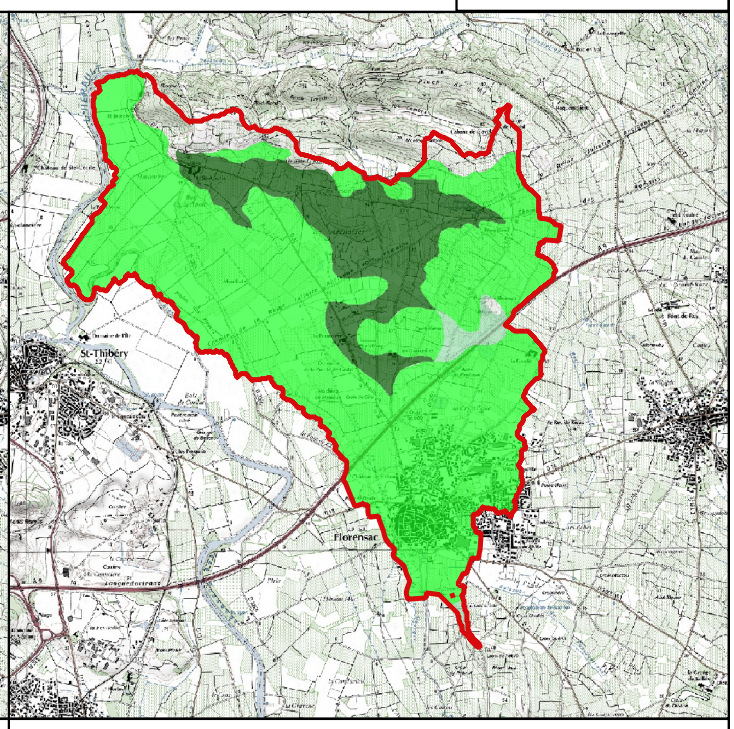
4b



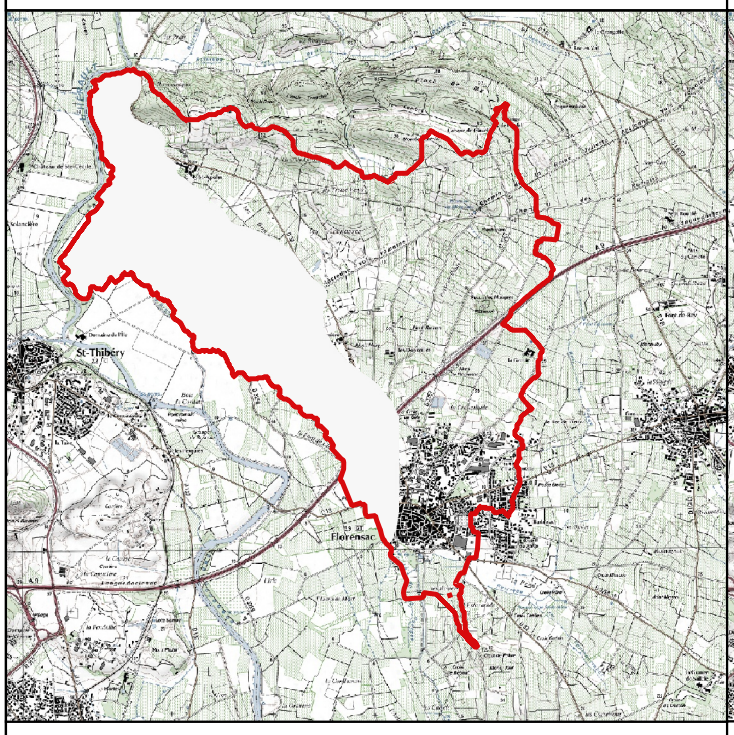
Critère "Pente"



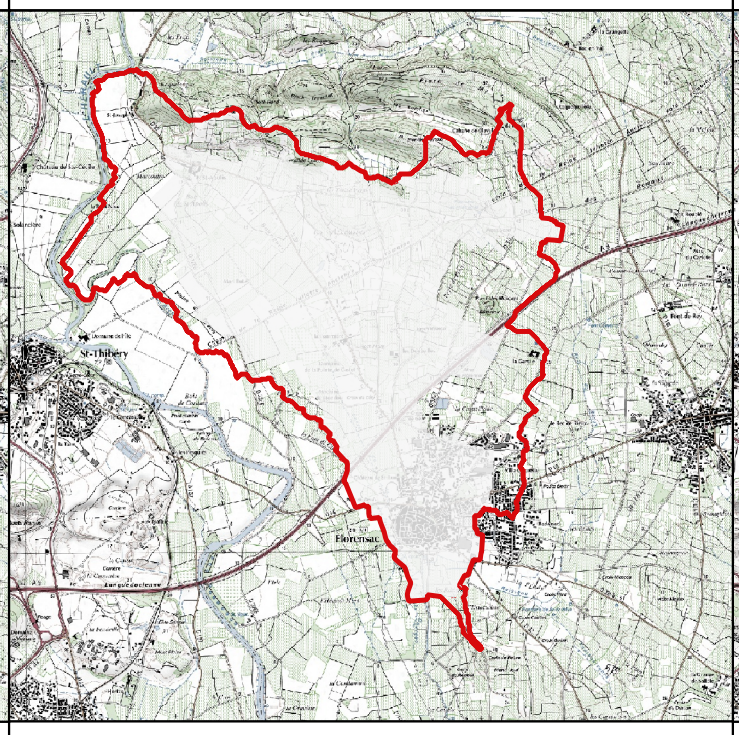
Critère "Lithologie"



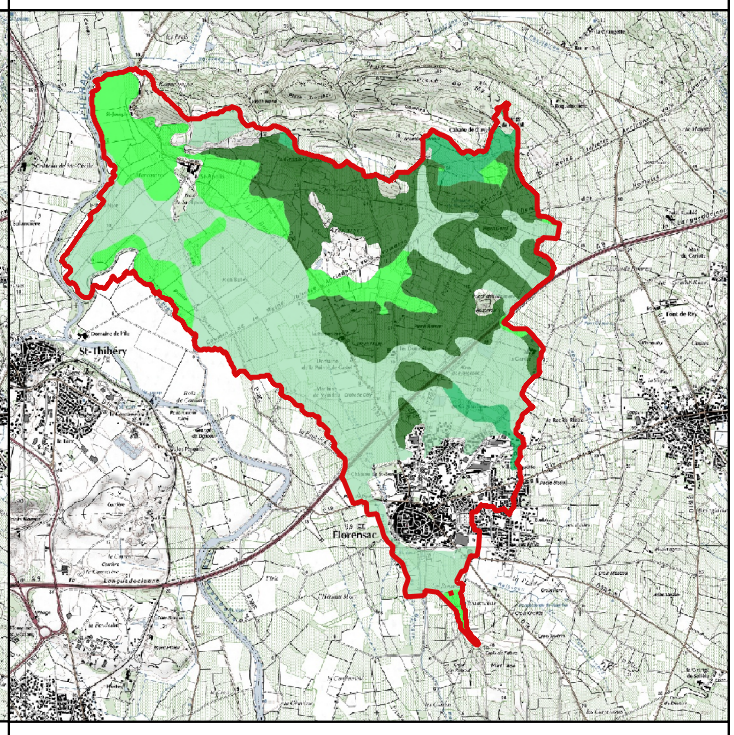
Critère "Recouvrement"



Critère "Echanges"



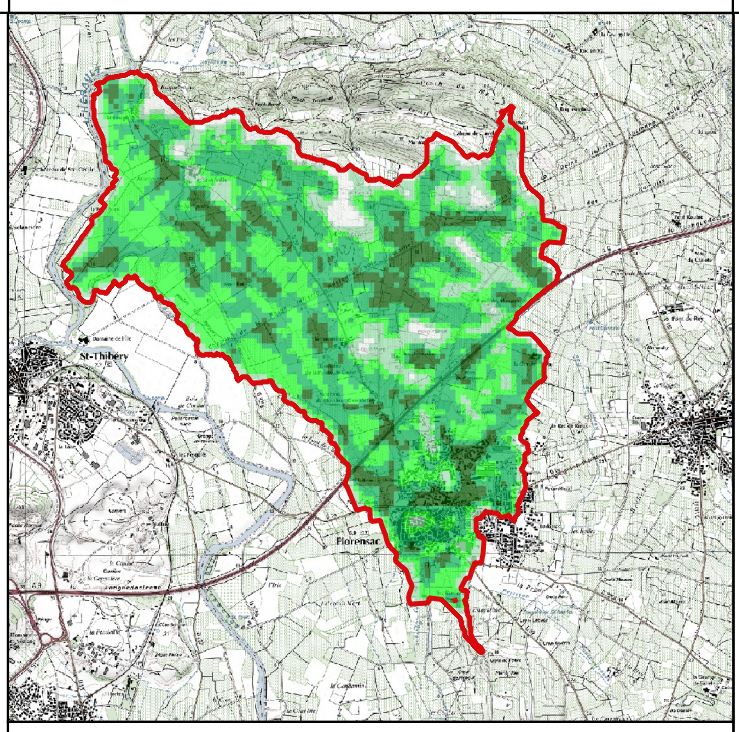
Critère "Zone de Vulnérabilité"



Critère "Pédologie"

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort



Critère "Points Bas"

0 1 2 3 4 km

EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES NUMÉRISÉS DE L'IGN AU 1/25 000
- RÉDUCTION AU 1/75 000 -

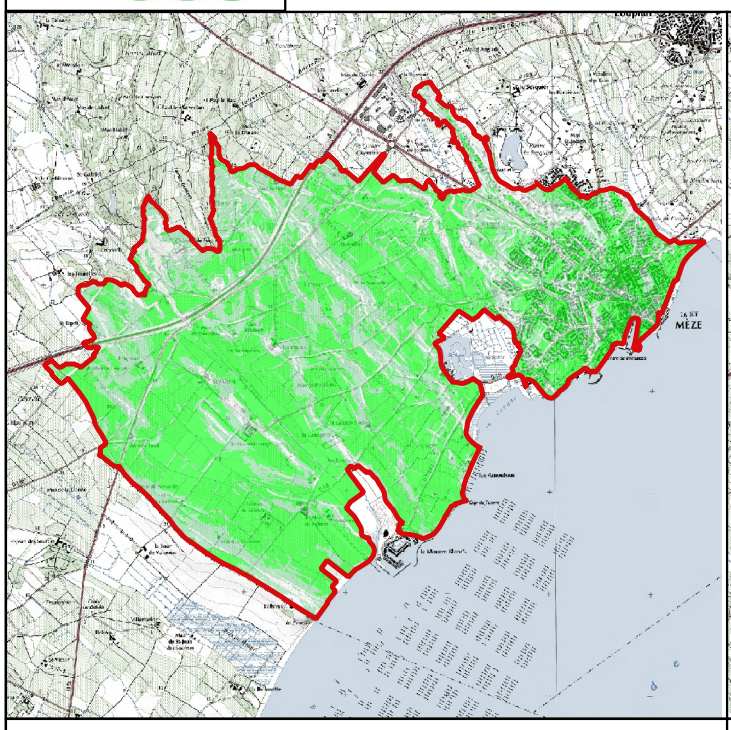
Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

BERGA Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

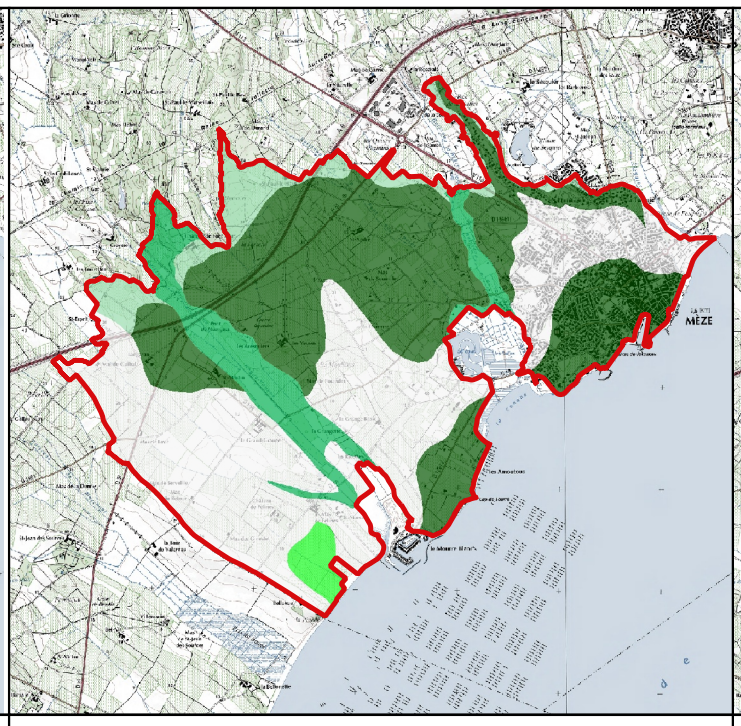
berga sud

CRITÈRE - SECTEUR DE MEZE

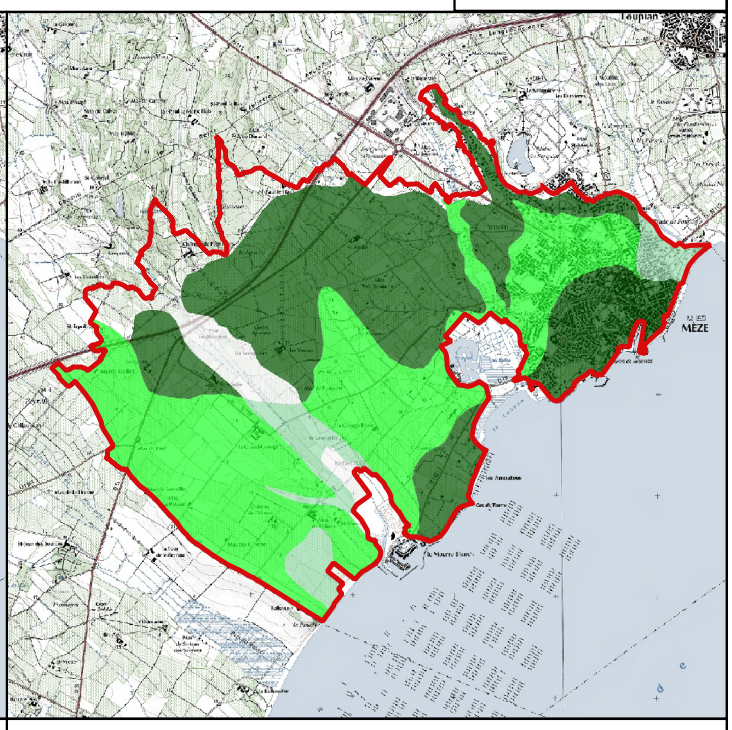
4c



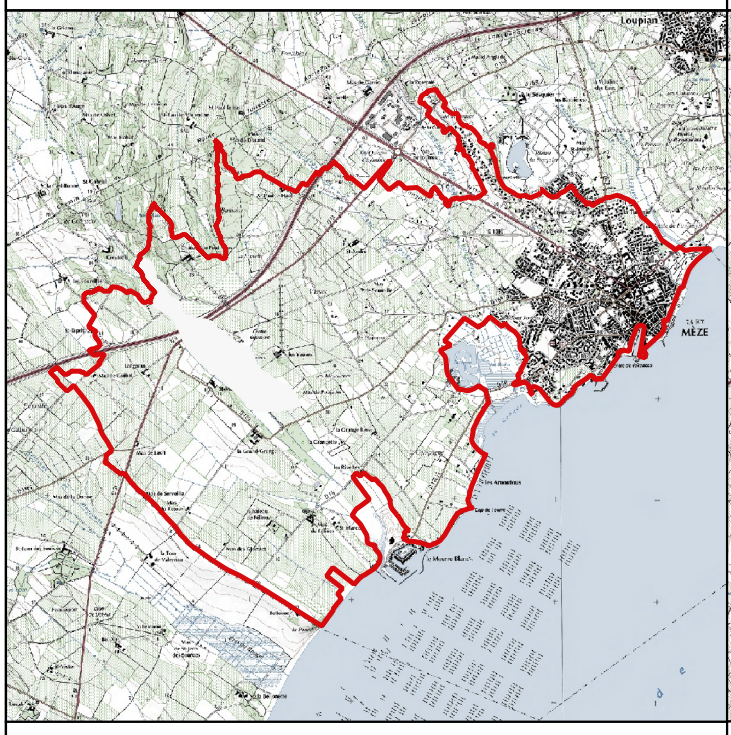
Critère "Pente"



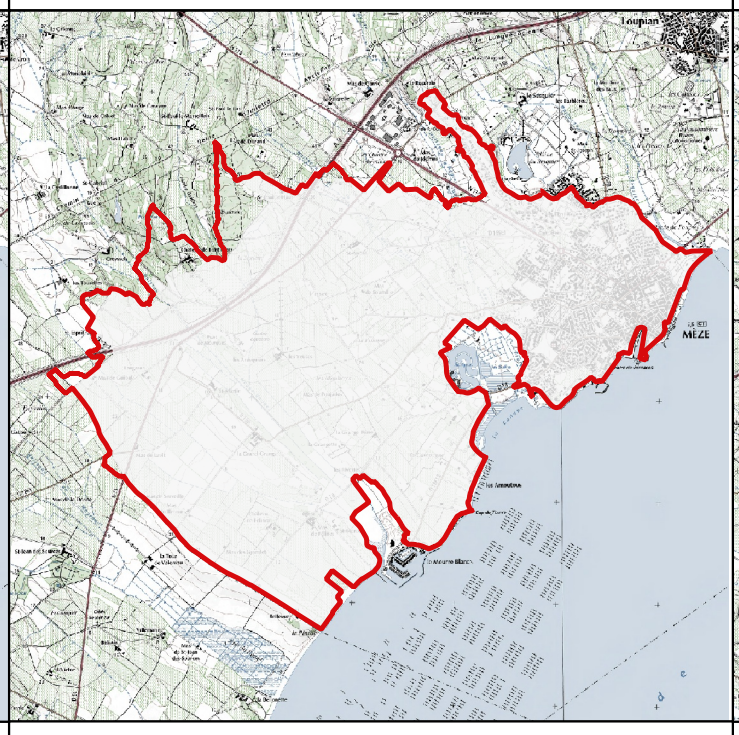
Critère "Lithologie"



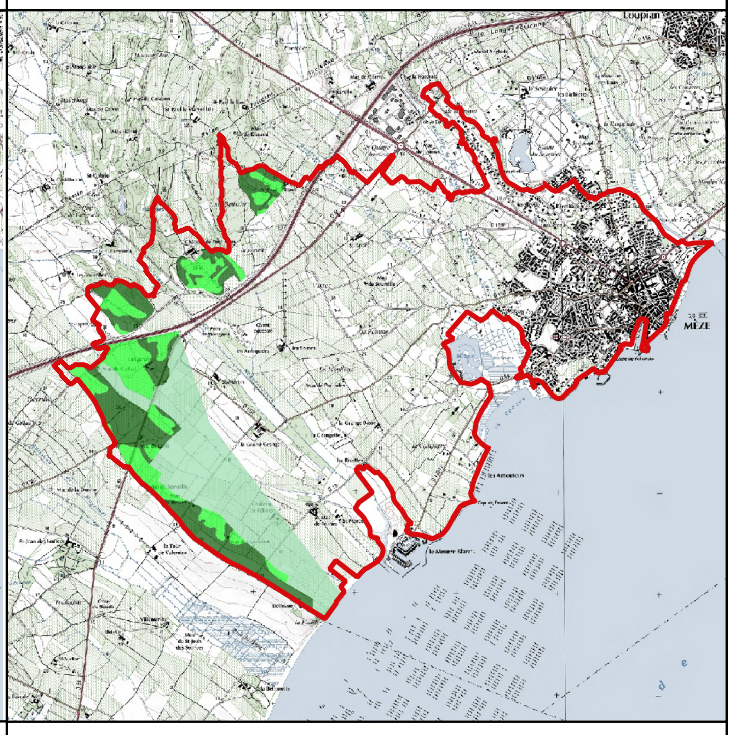
Critère "Recouvrement"



Critère "Echanges"



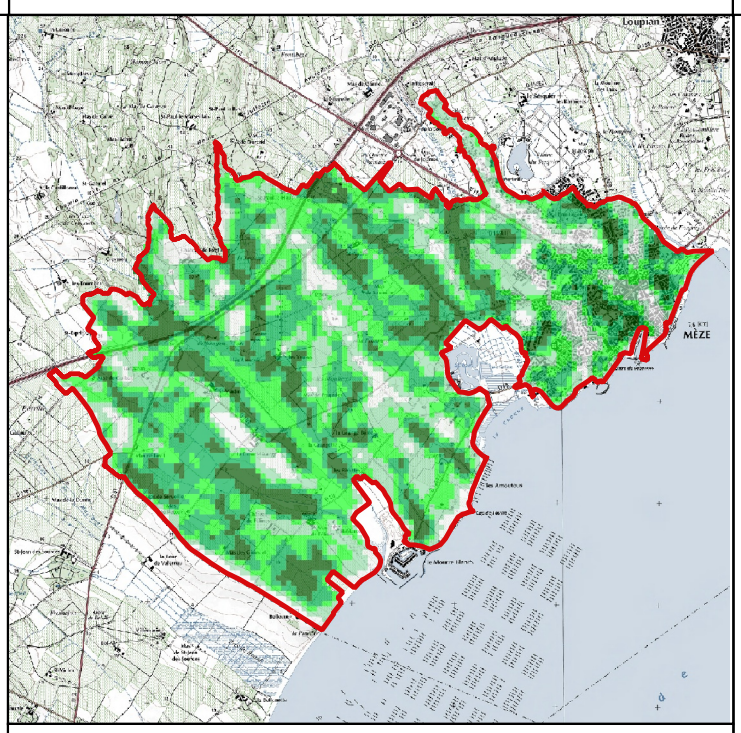
Critère "Zone de Vulnérabilité"



Critère "Pédologie"

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort



Critère "Points Bas"

0 1 2 3 4 km

EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES NUMÉRISÉS DE L'IGN AU 1/25 000
- RÉDUCTION AU 1/75 000 -

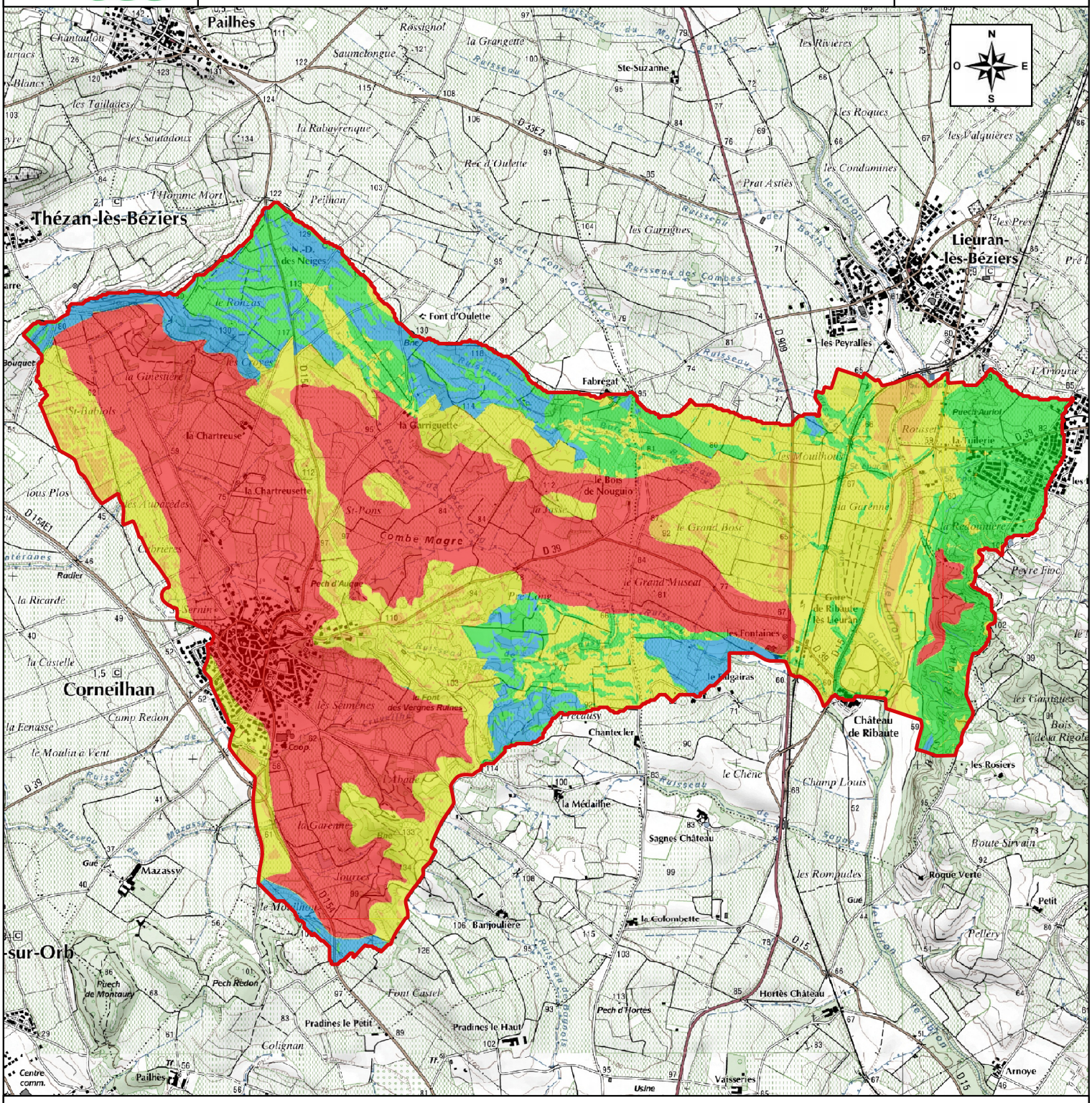
Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

BERGA Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

CRITÈRE HYDROGÉOLOGIQUE
- Secteur de Corneilhan -

5a



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

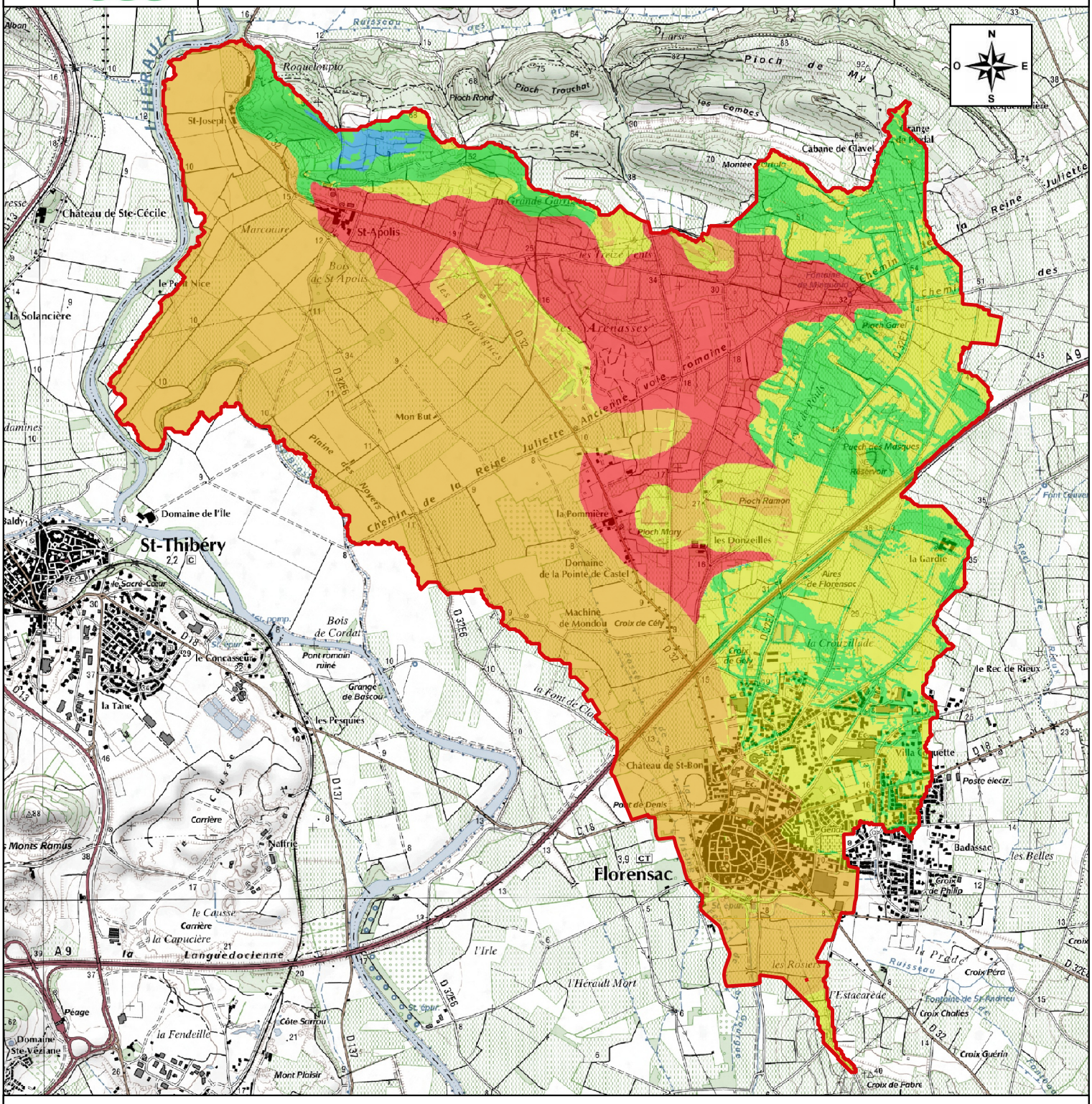
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

CRITÈRE HYDROGÉOLOGIQUE
- Secteur de Florensac -

5b



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

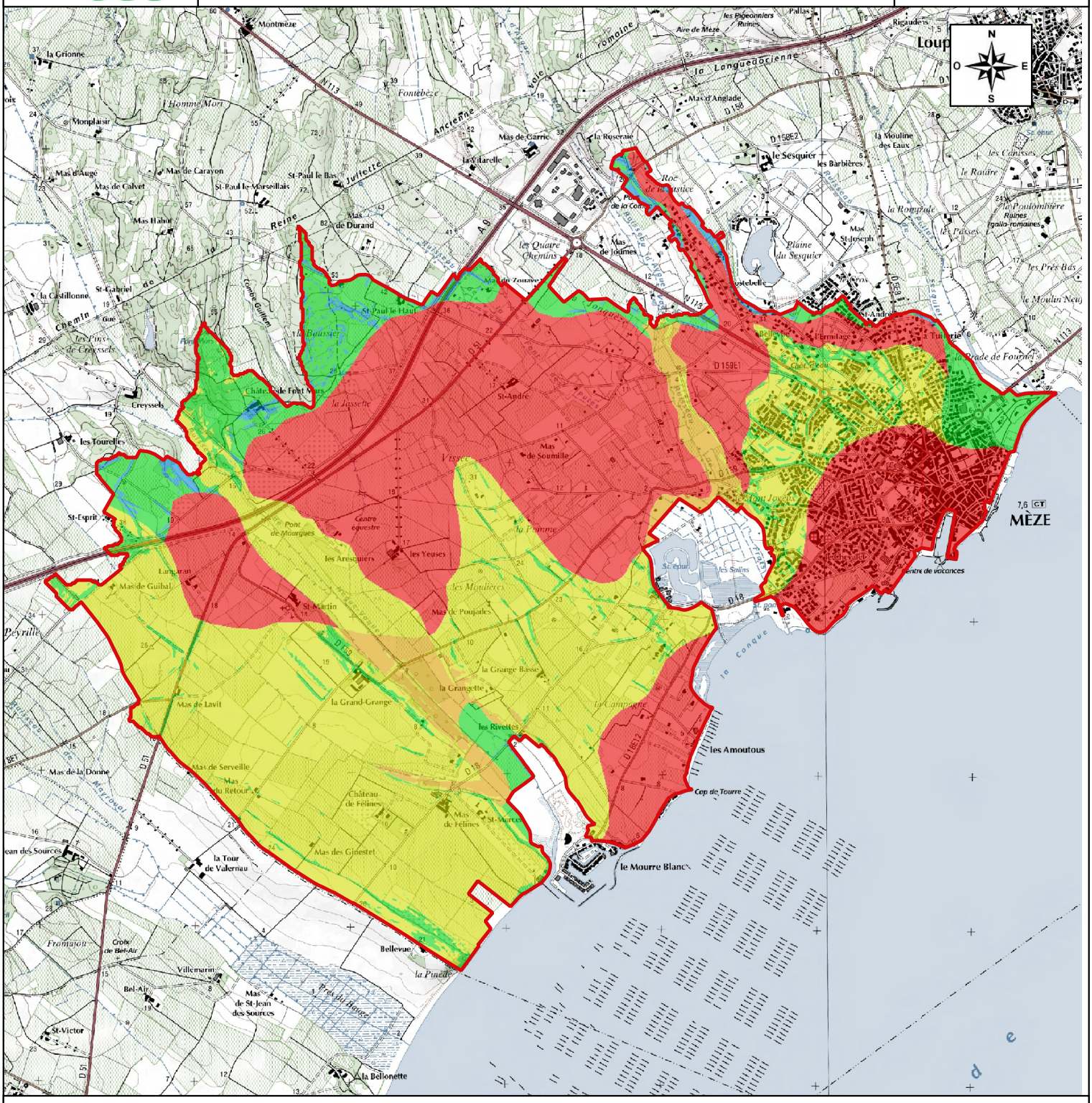
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

CRITÈRE HYDROGÉOLOGIQUE
- Secteur de Mèze -

5c



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

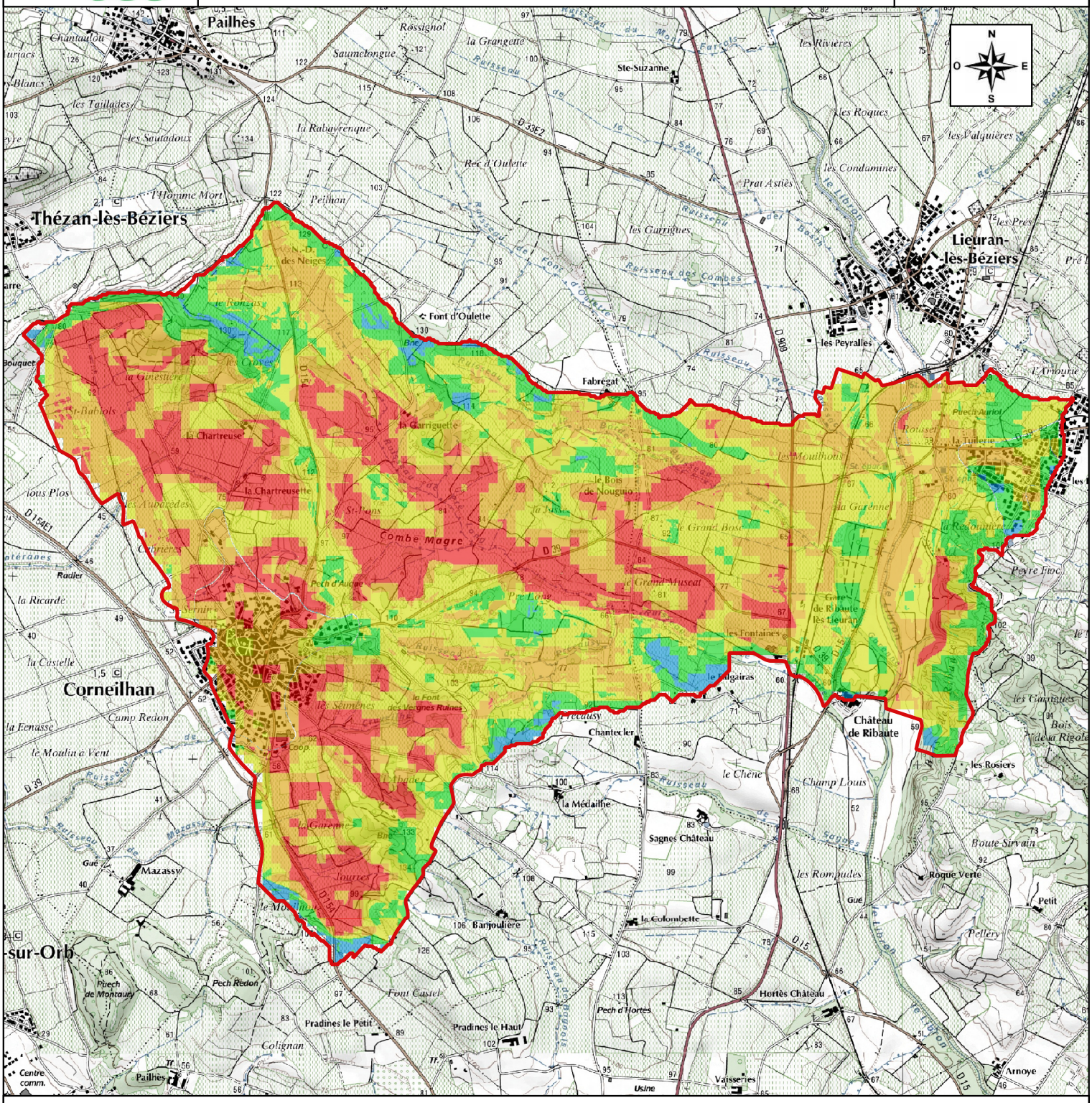
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°1 -
- Secteur de Corneilhan -

6a



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

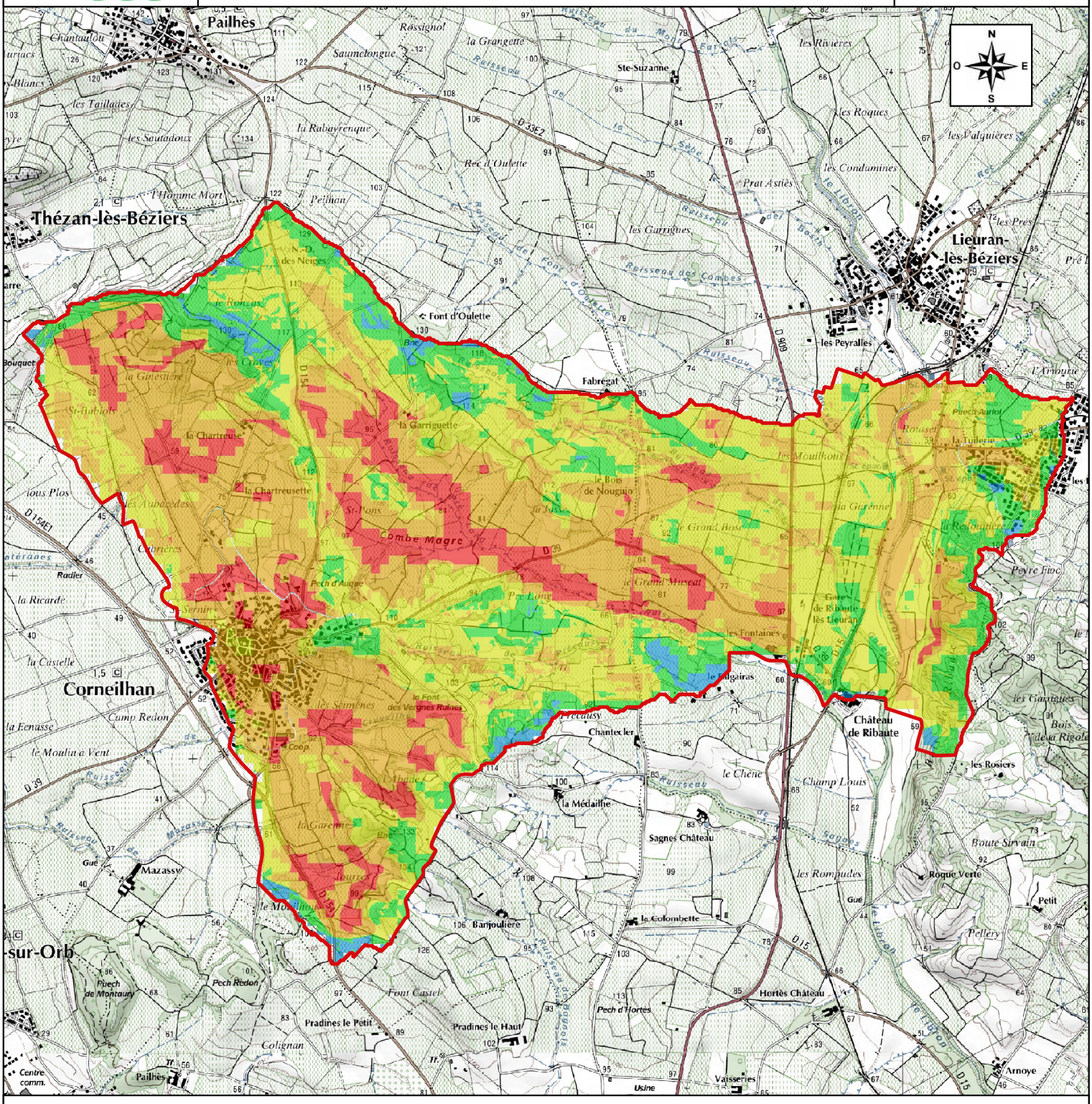
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°2 -
- Secteur de Corneilhan -

6b



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

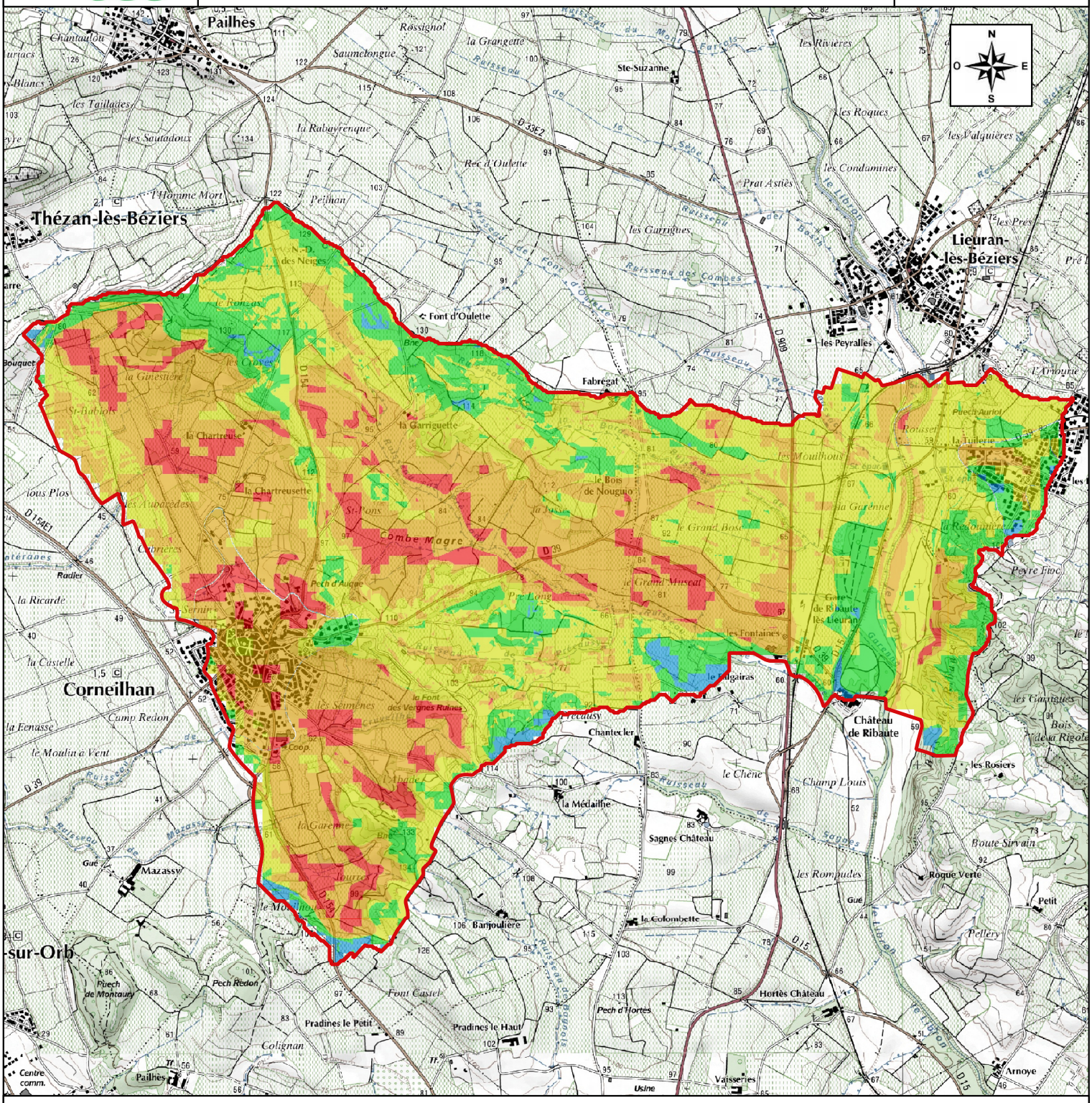
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°3 -
- Secteur de Corneilhan -

6c



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

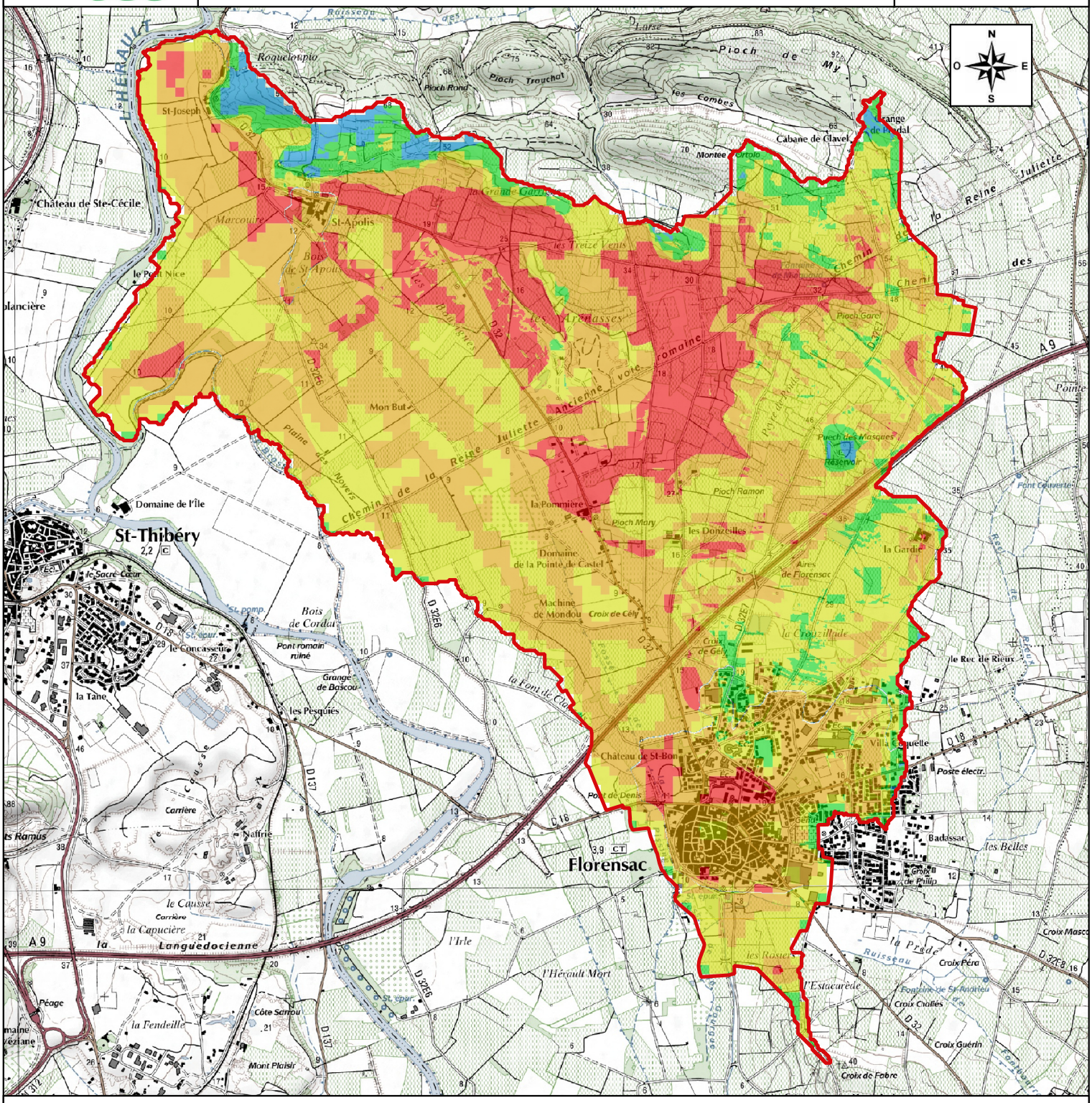
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°1 -
- Secteur de Florensac -

6d



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

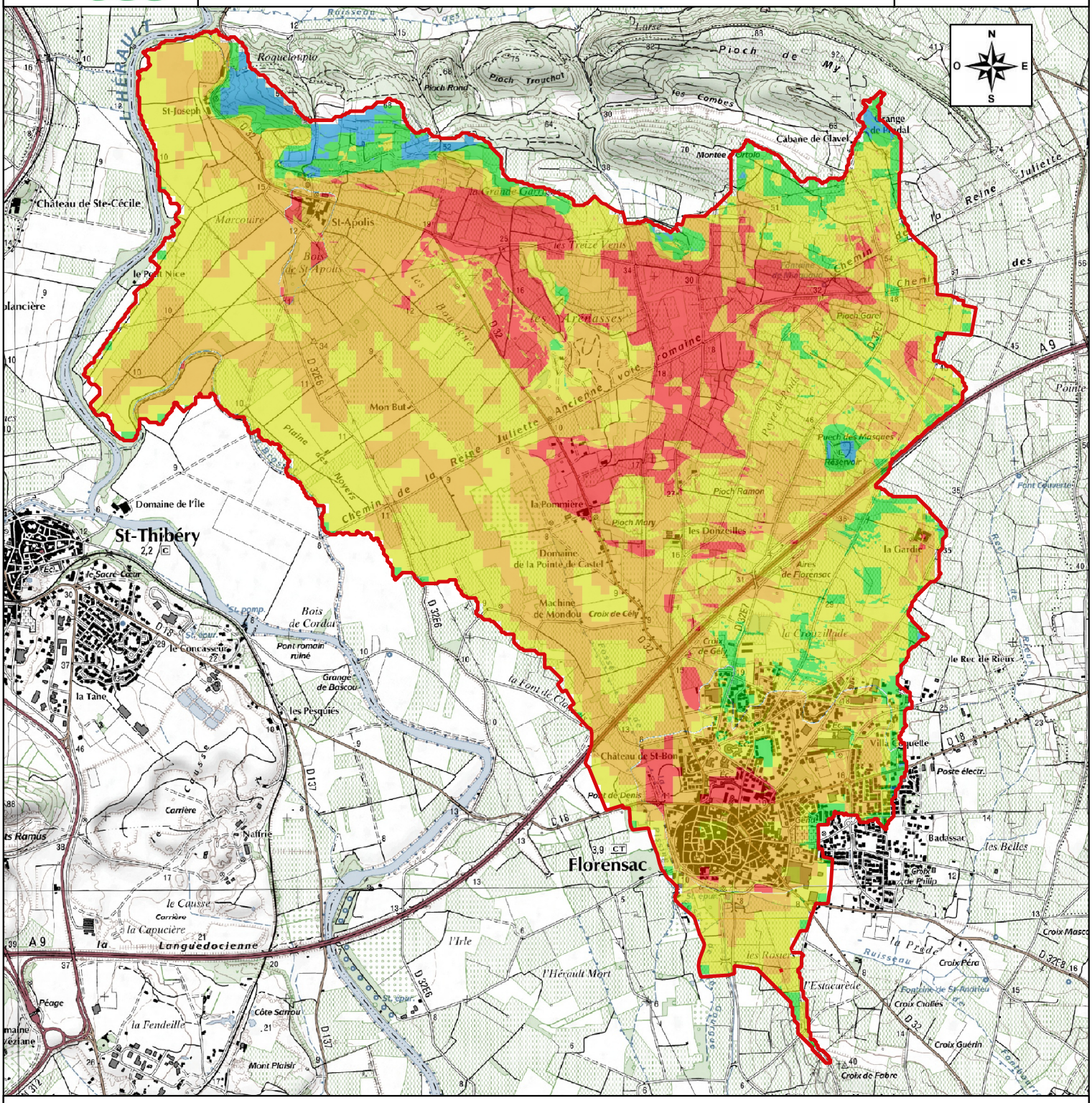
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°2 -
- Secteur de Florensac -

6e



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

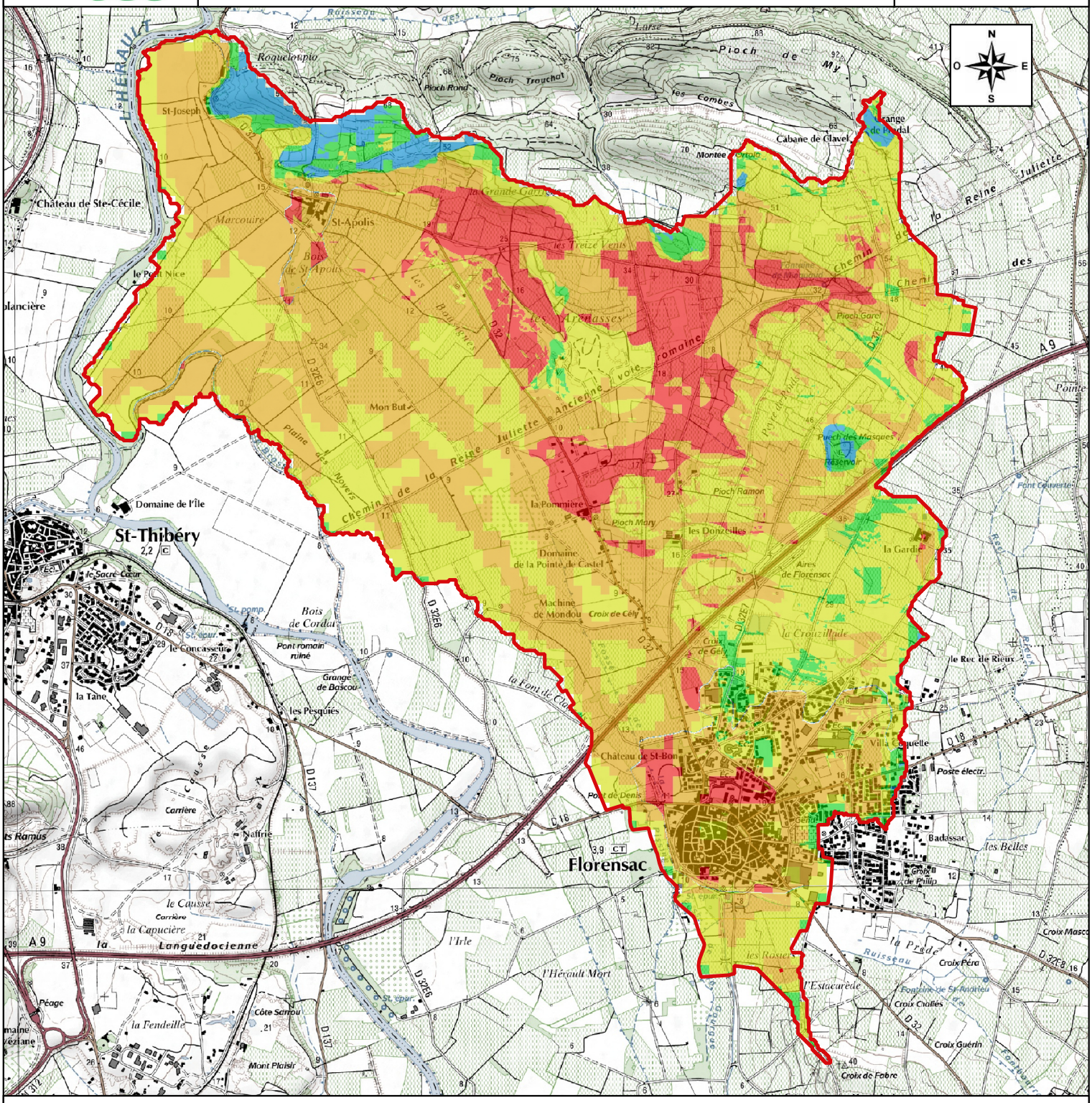
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1 - PONDÉRATION N°3 - - Secteur de Florensac -

6f



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

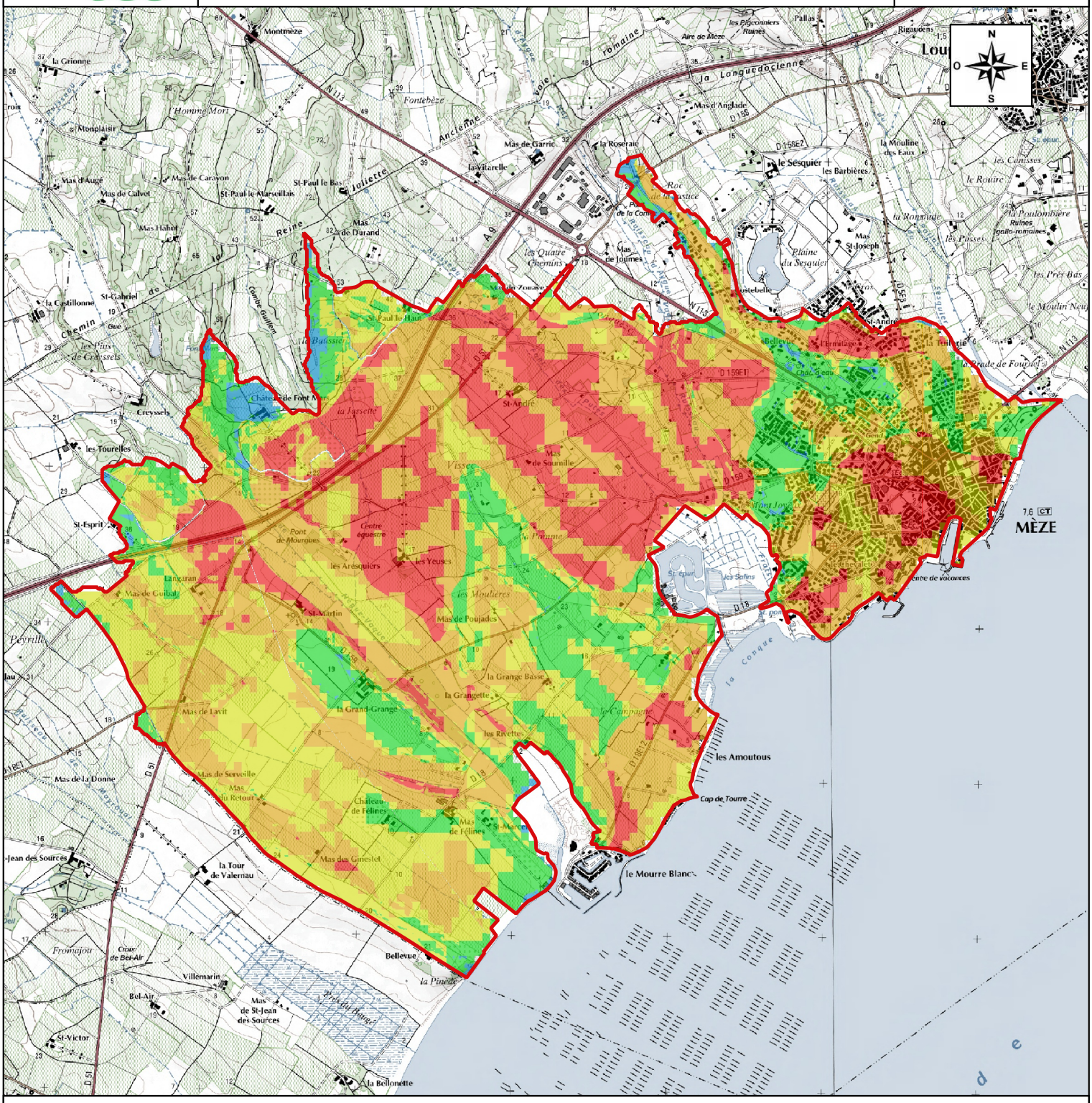
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°1 -
- Secteur de Mèze -

6g



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

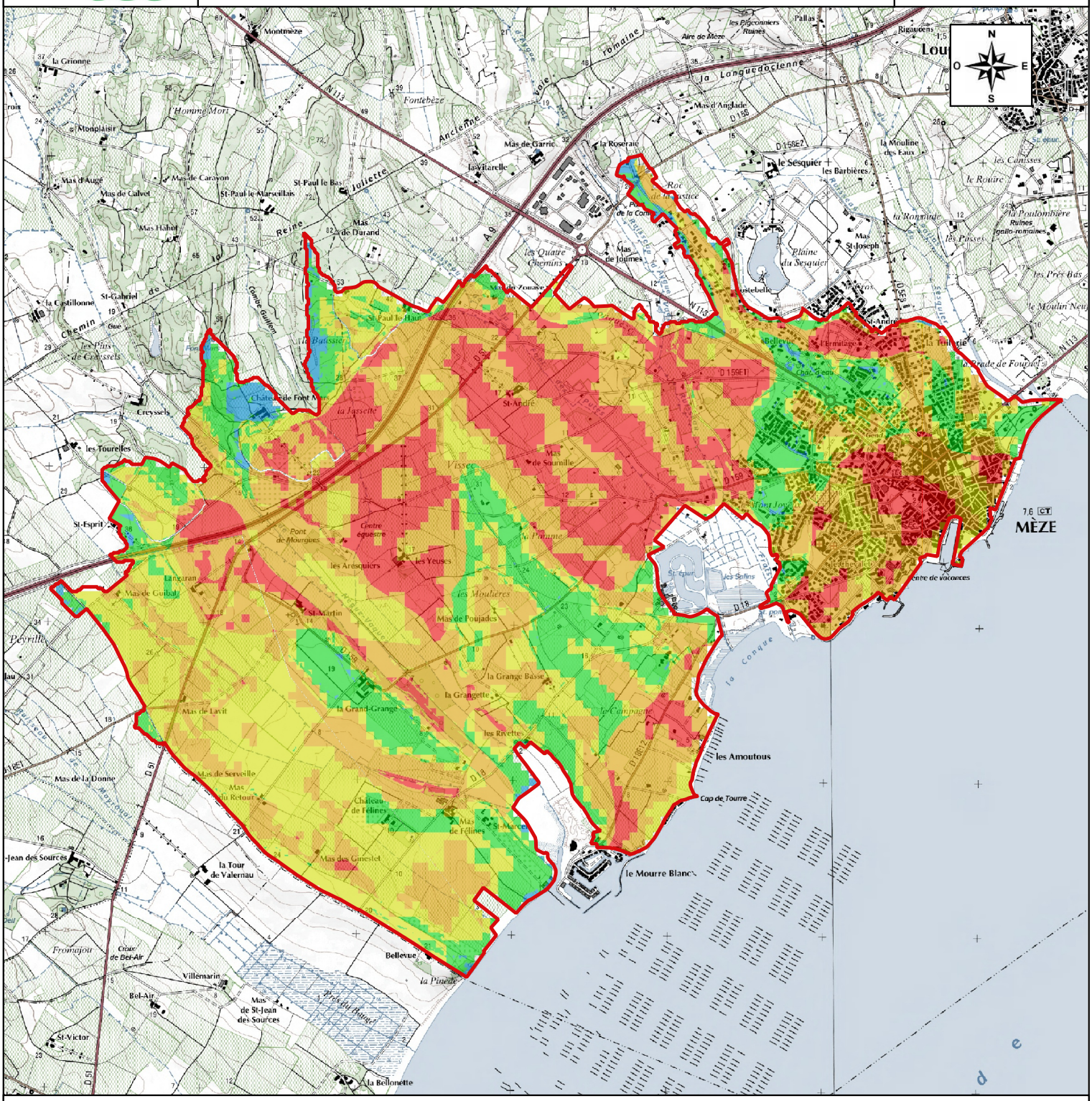
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°2 -
- Secteur de Mèze -

6h



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

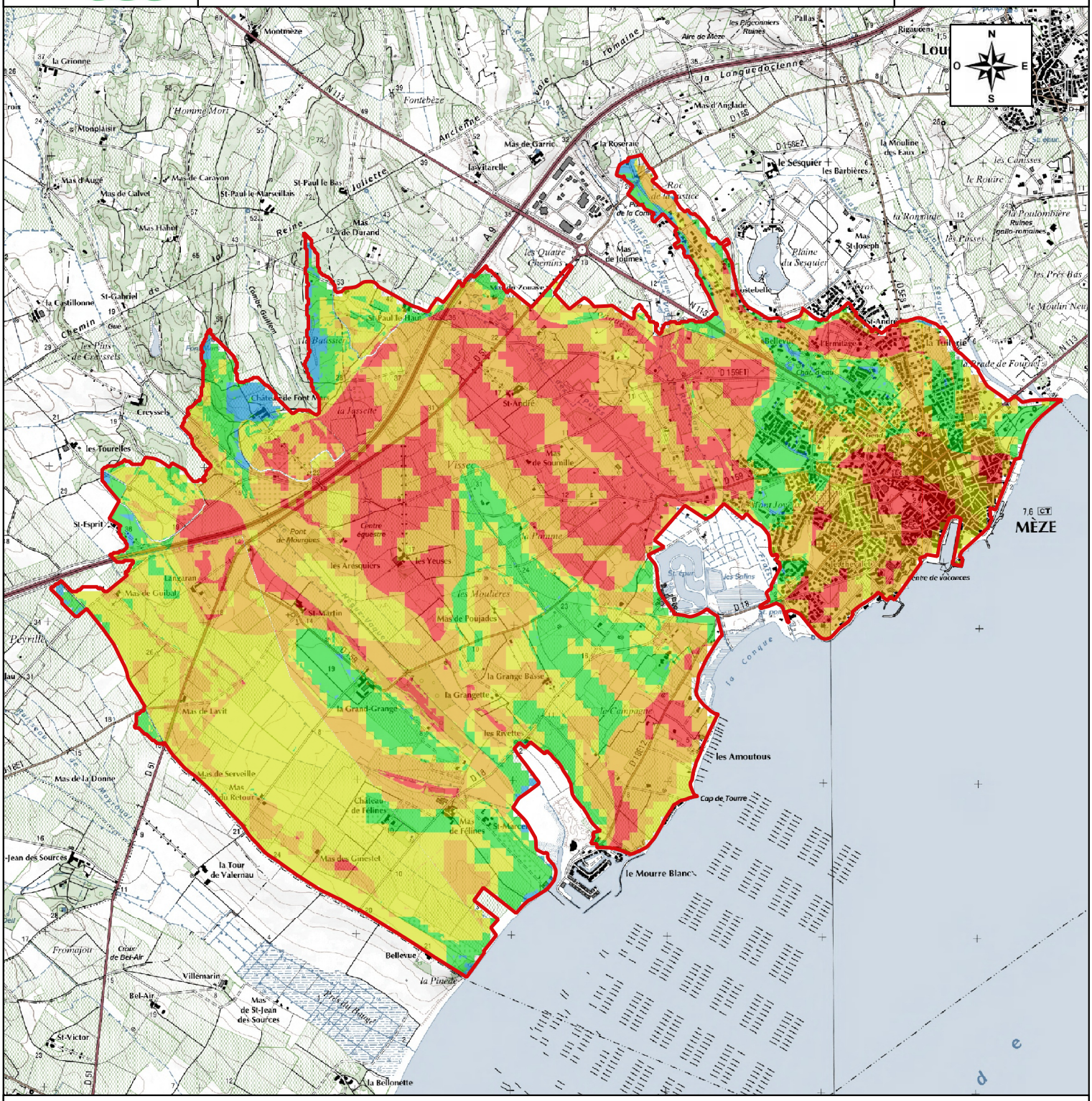
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 1
- PONDÉRATION N°3 -
- Secteur de Mèze -

6i



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

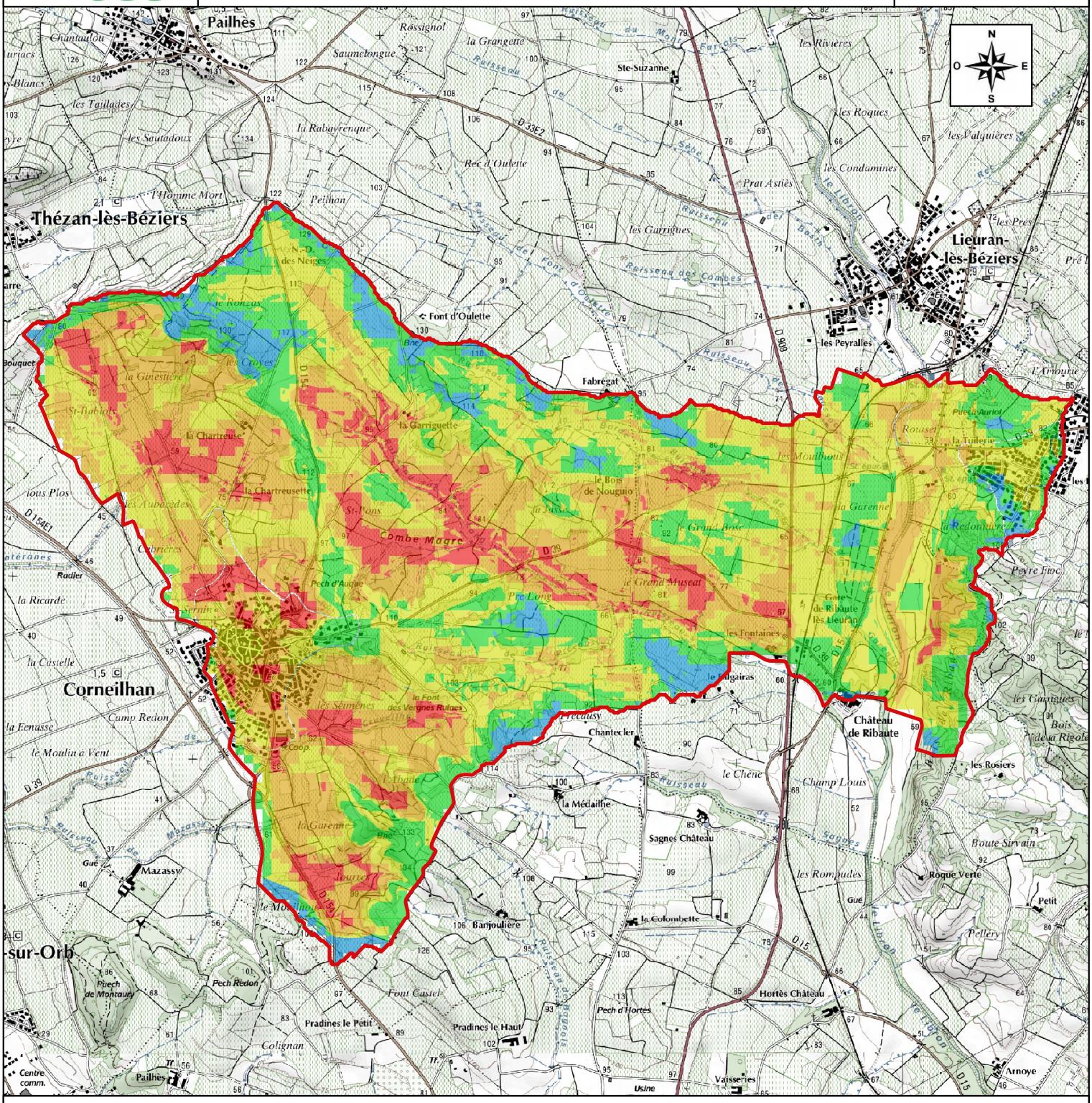
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2
- PONDÉRATION N°1' -
- Secteur de Corneilhan -

7a



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

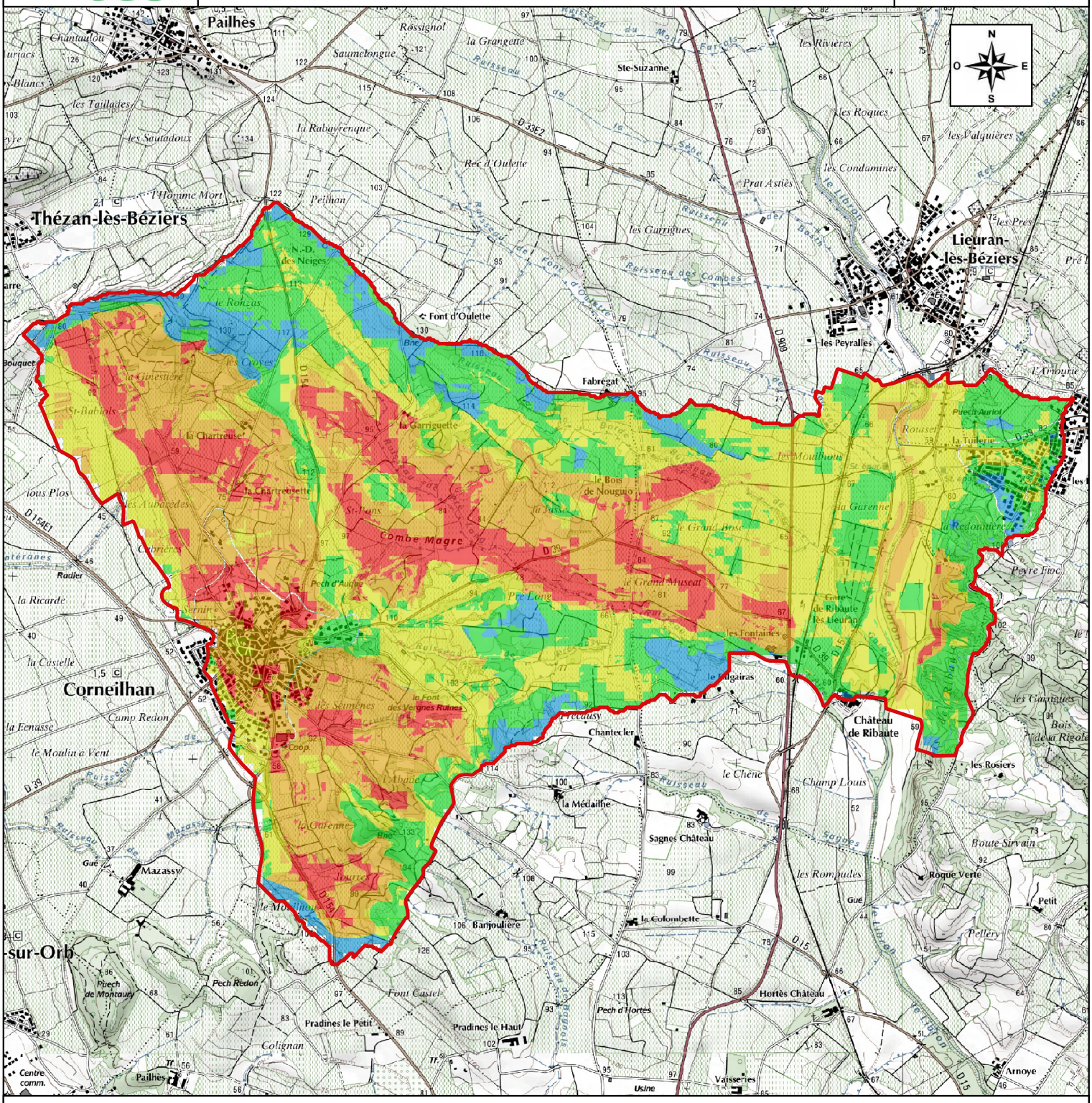
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2 - PONDÉRATION N°2' - - Secteur de Corneilhan -

7b



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

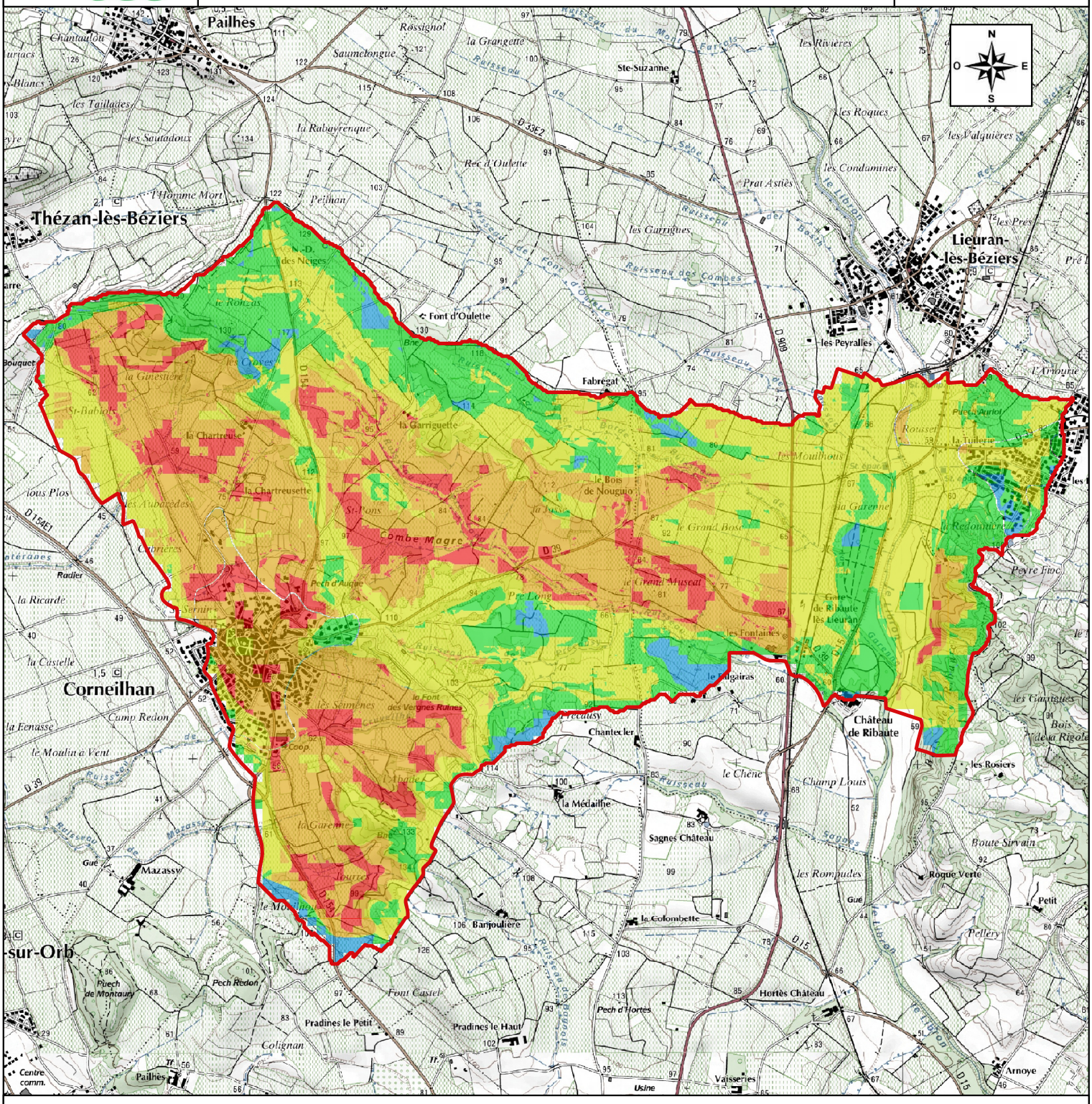
- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2
- PONDÉRATION N°3' -
- Secteur de Corneilhan -

7c



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

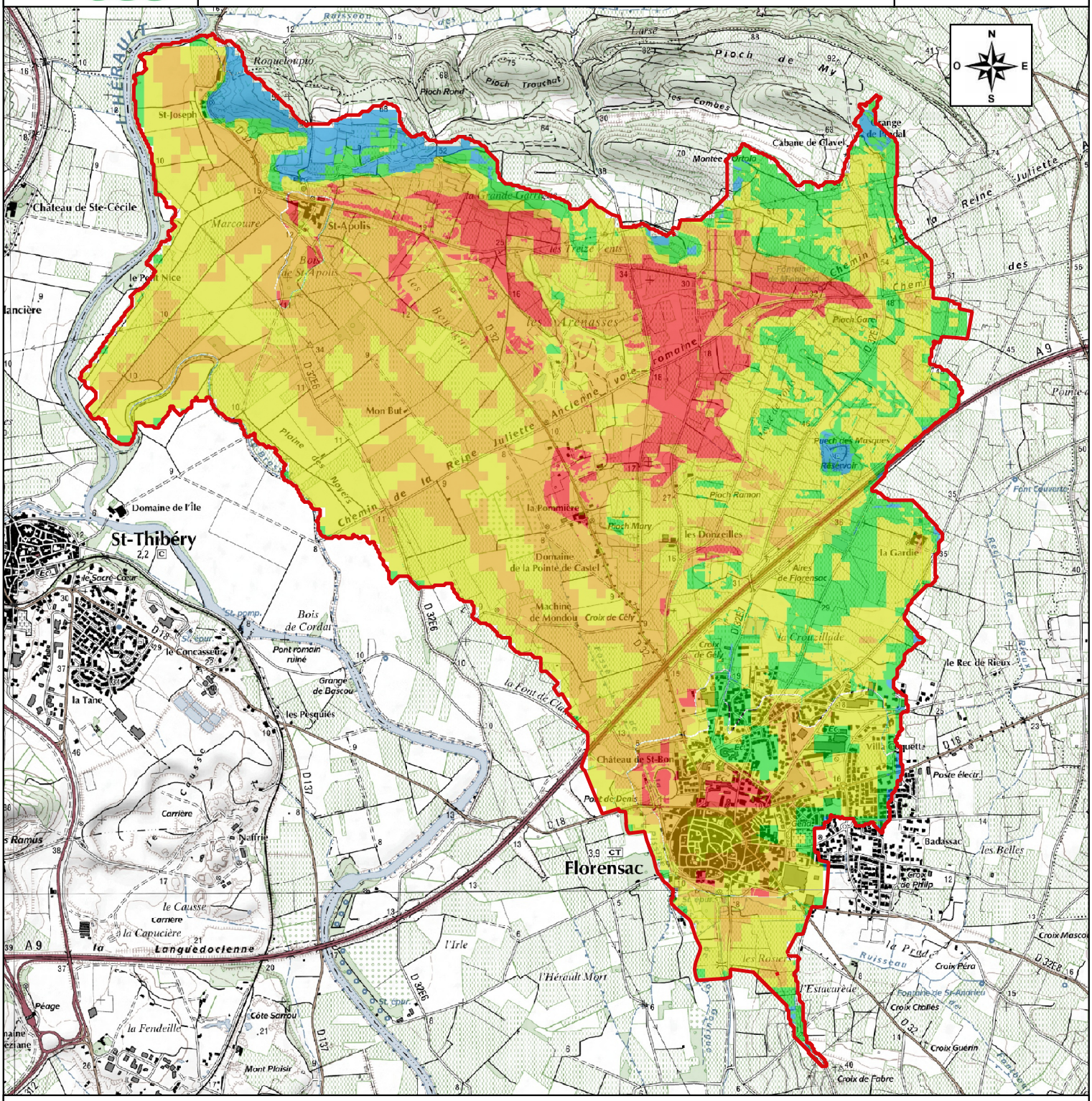
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2 - PONDÉRATION N°1' - - Secteur de Florensac -

7d



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

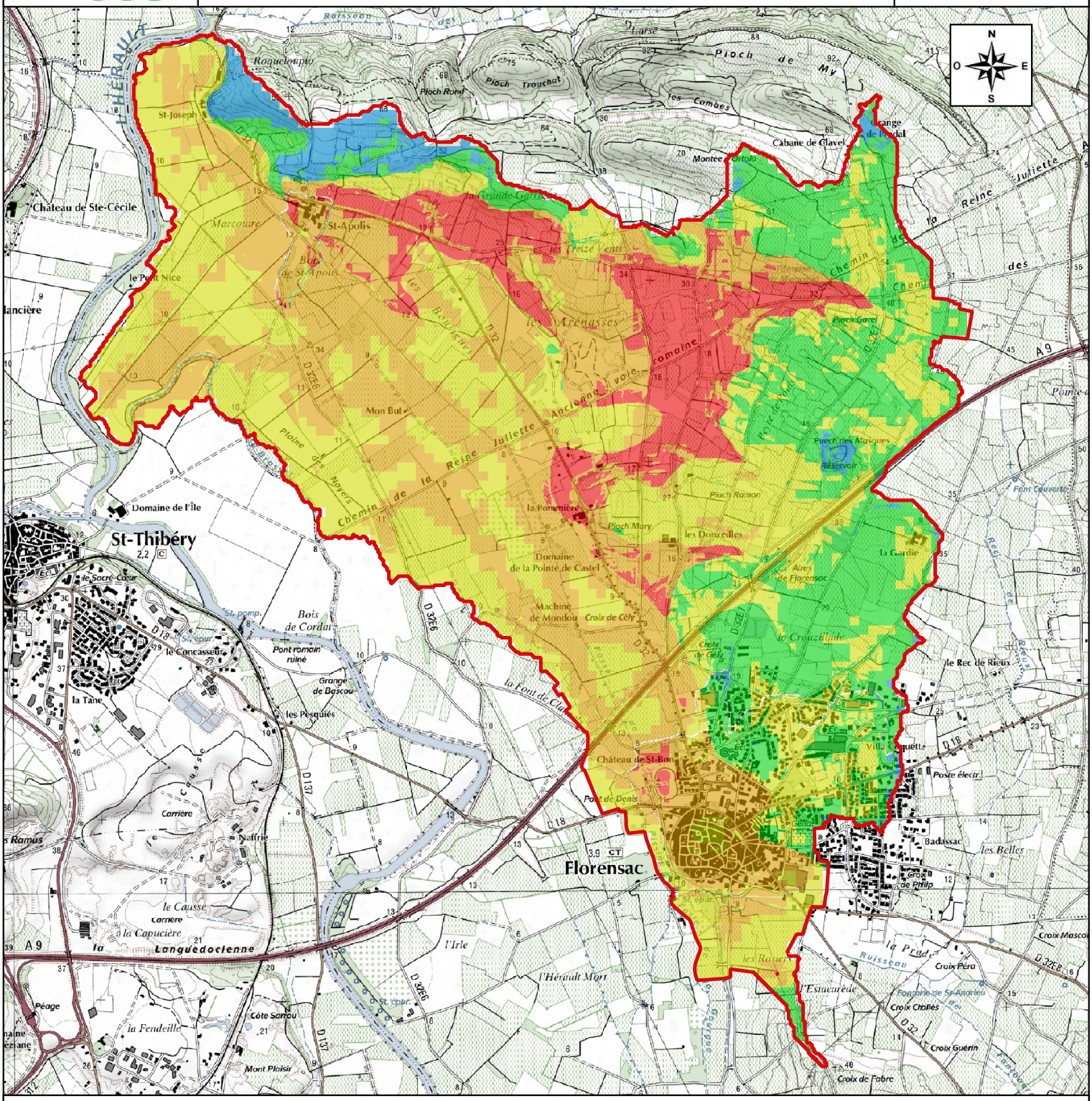
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2 - PONDÉRATION N°2' - - Secteur de Florensac -

7e



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

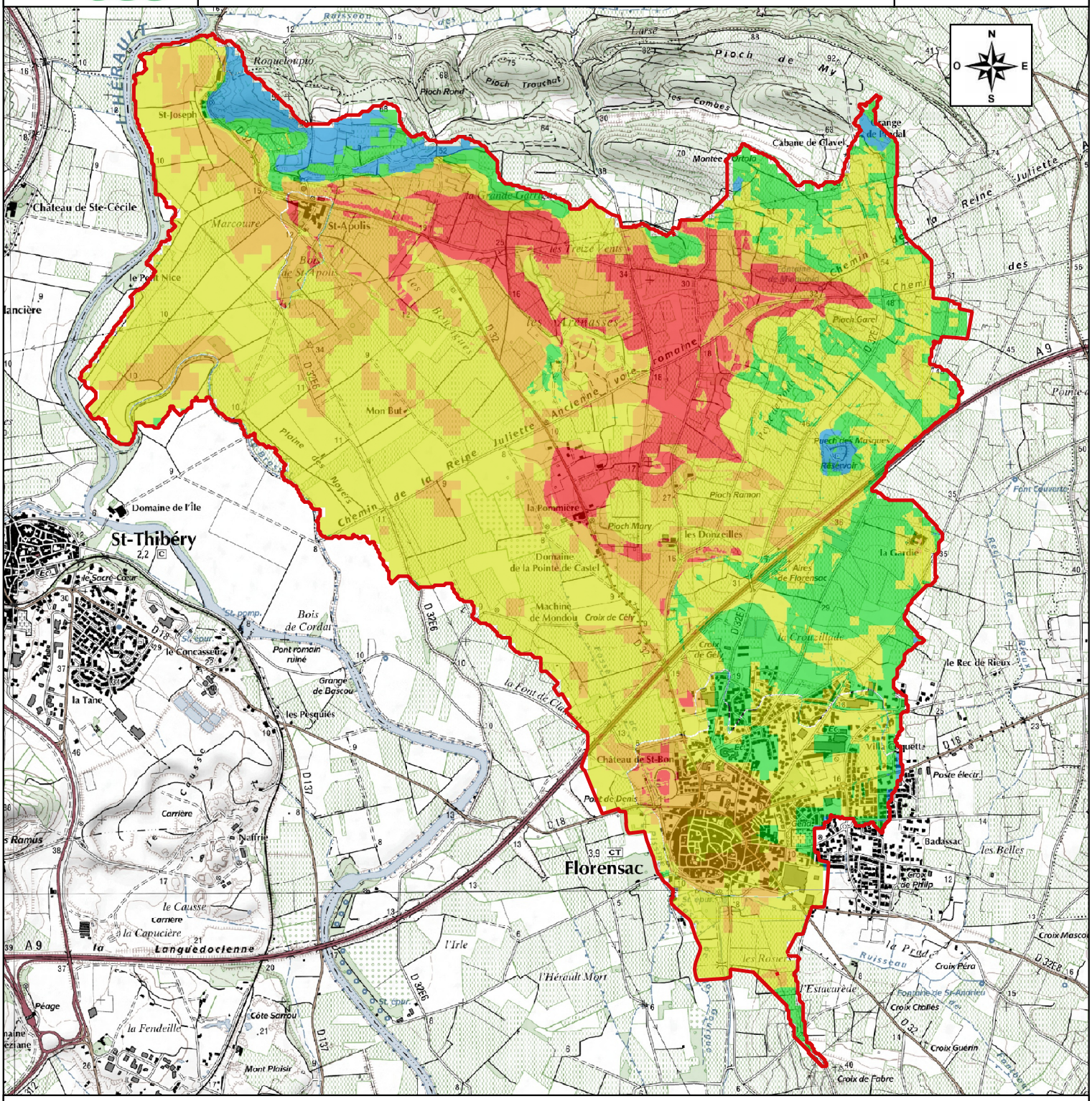
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2 - PONDÉRATION N°3' - - Secteur de Florensac -

7f



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

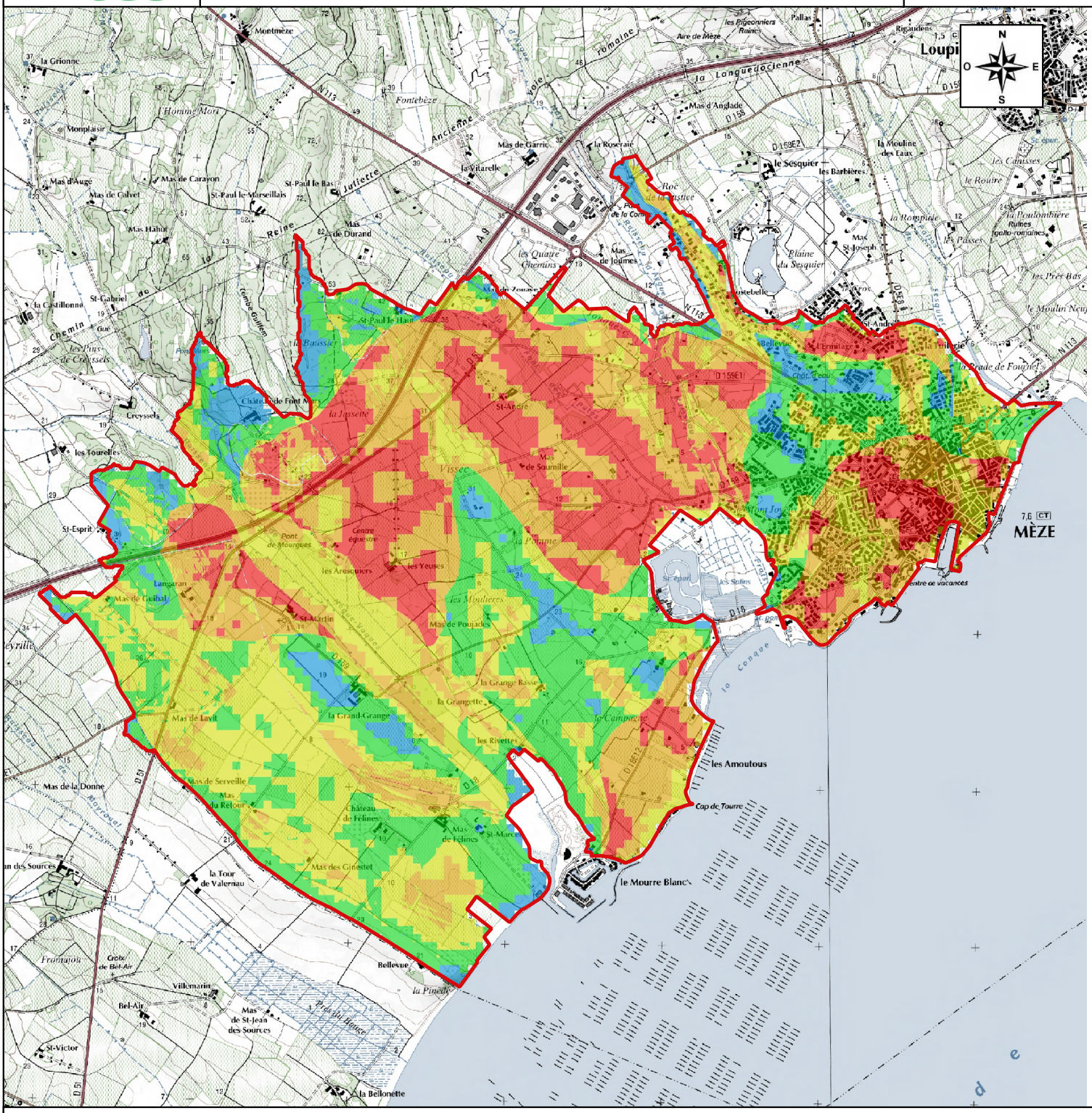
Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2
- PONDÉRATION N°1' -
- Secteur de Mèze -

7g



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

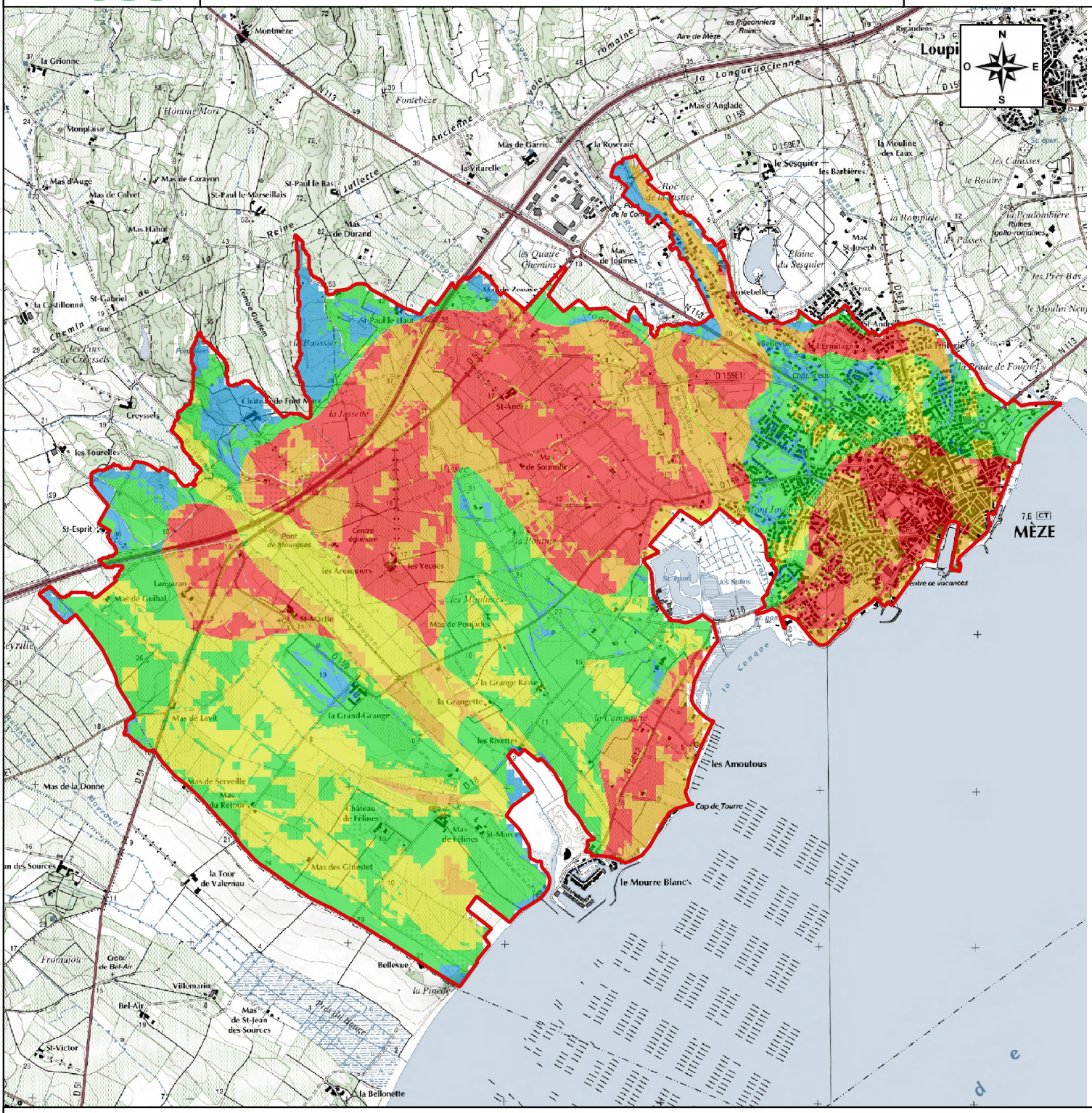
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2
- PONDÉRATION N°2' -
- Secteur de Mèze -

7h



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

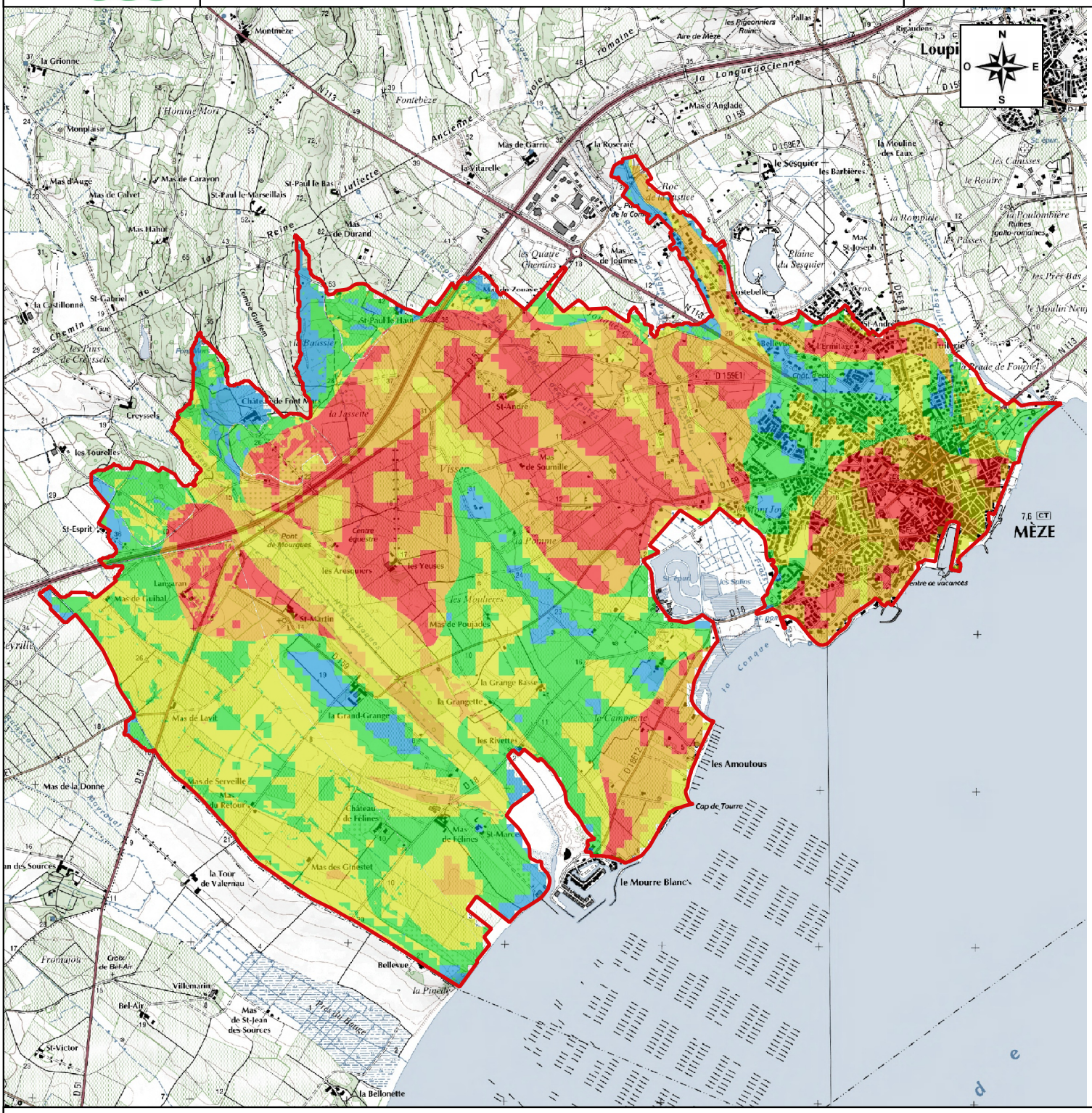
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE - VERSION 2 - PONDÉRATION N°3' - - Secteur de Mèze -

7i



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

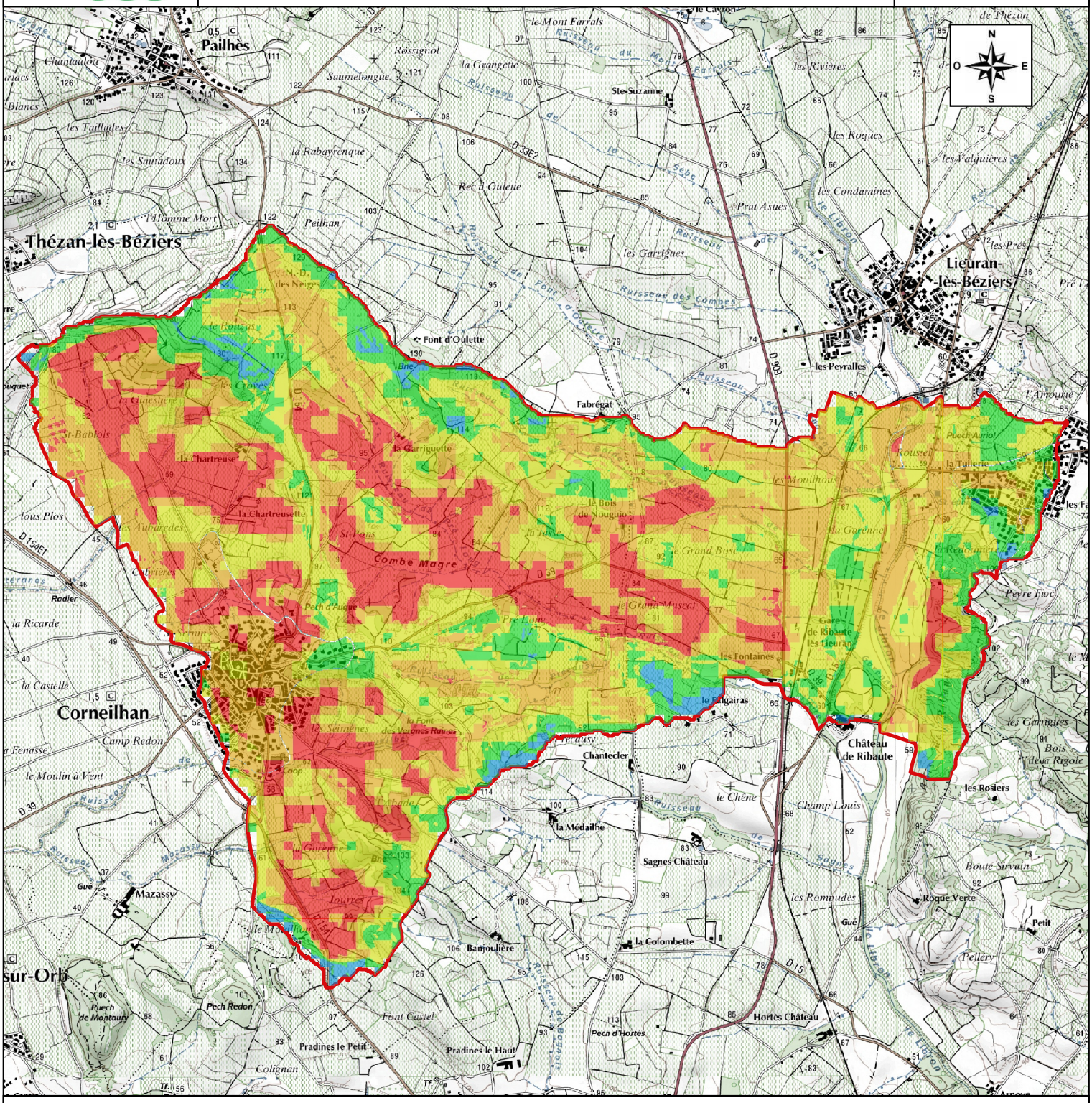
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE DES SABLES ASTIENS
- Secteur de Corneilhan -

8a



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000
- AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Indice de vulnérabilité

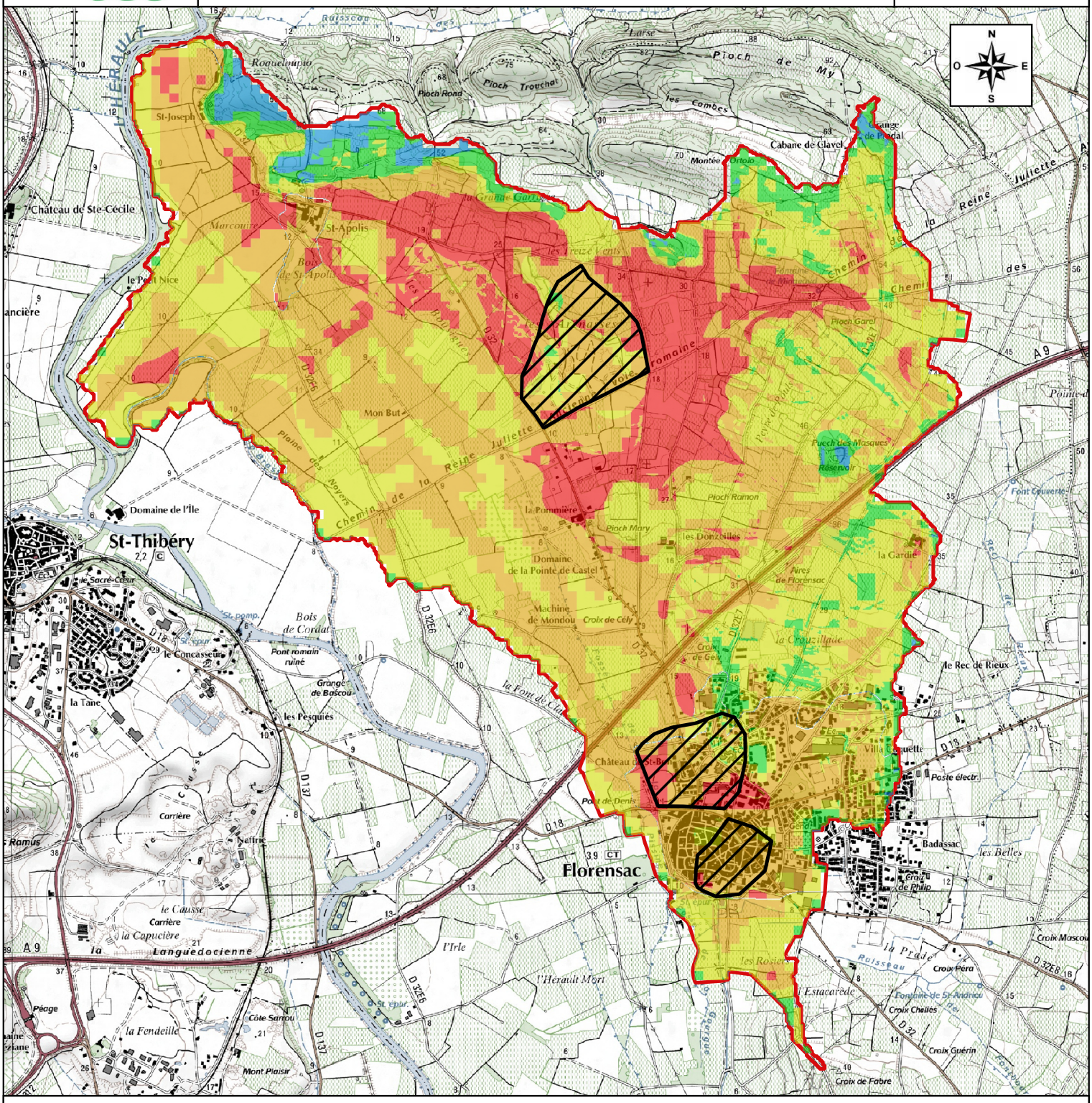
- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE DES SABLES ASTIENS INCLUANT LES POINTS D'INFILTRATION PRÉFÉRENTIELLE - Secteur de Florensac -

8b



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Bassin versant théorique des sablières ou des bassins d'orage

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

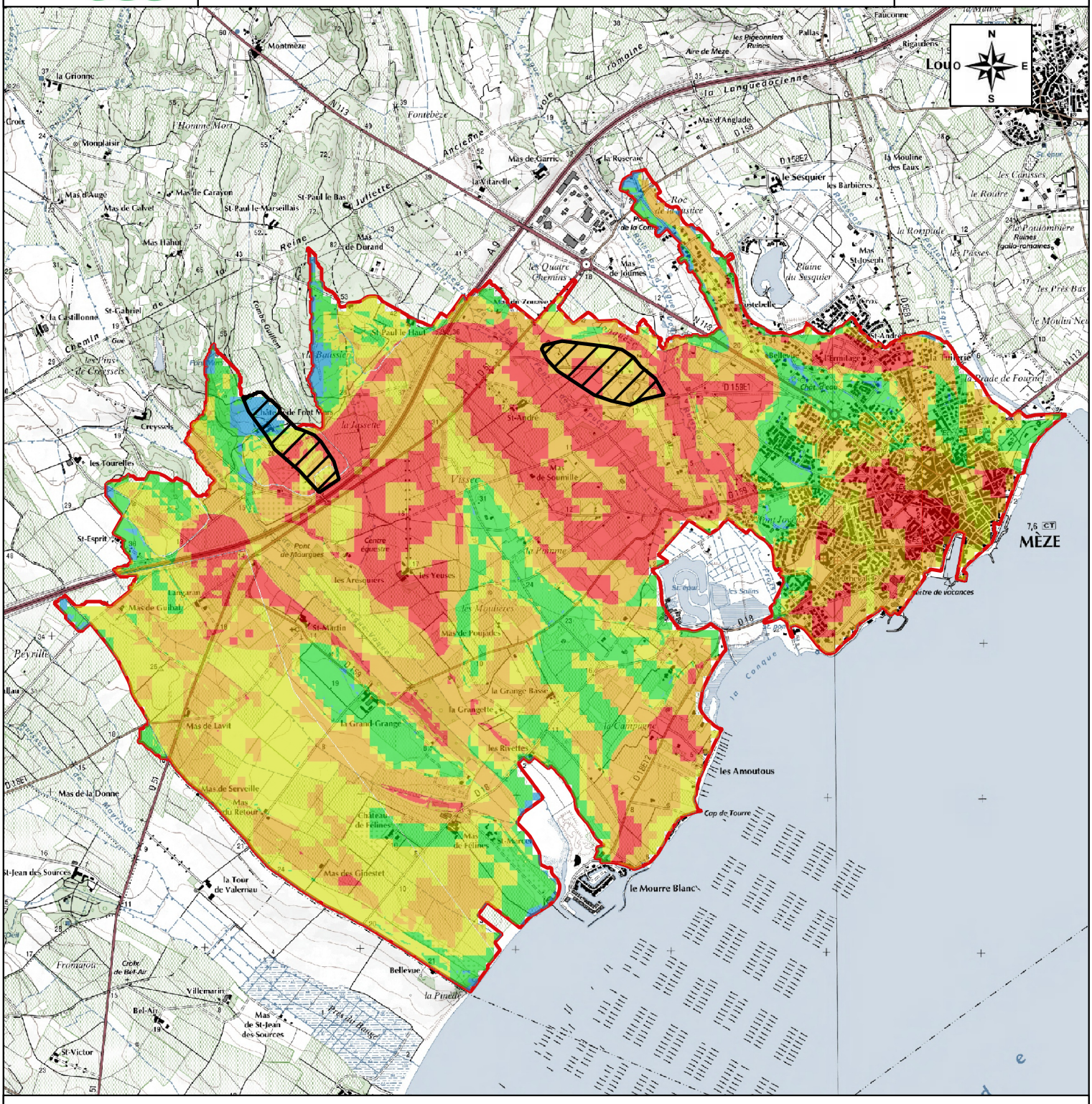
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

VULNÉRABILITÉ INTRINSÈQUE DES SABLES ASTIENS INCLUANT LES POINTS D'INFILTRATION PRÉFÉRENTIELLE - Secteur de Mèze -

8c



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Bassin versant théorique des sablières ou des bassins d'orage

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

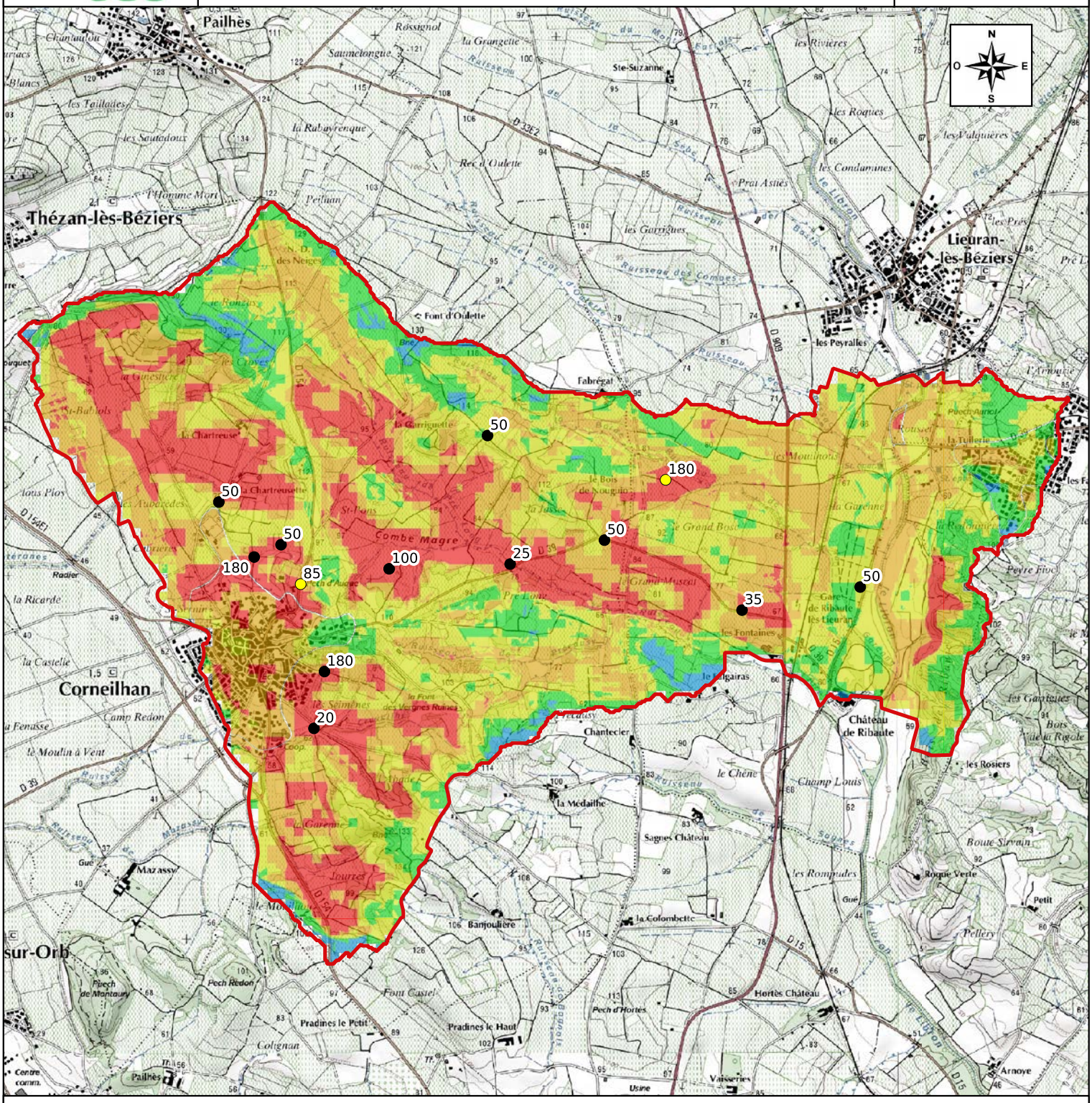
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

ECHANTILLONNAGE DES SABLES ASTIENS
Vulnérabilité intrinsèque Version 1 - pondération n°1
- Secteur de Corneilhan -

9a



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Point échantillonné - présence des sables astiens
profondeur de la reconnaissance atteinte (cm)

- oui
- non

Indice de vulnérabilité

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

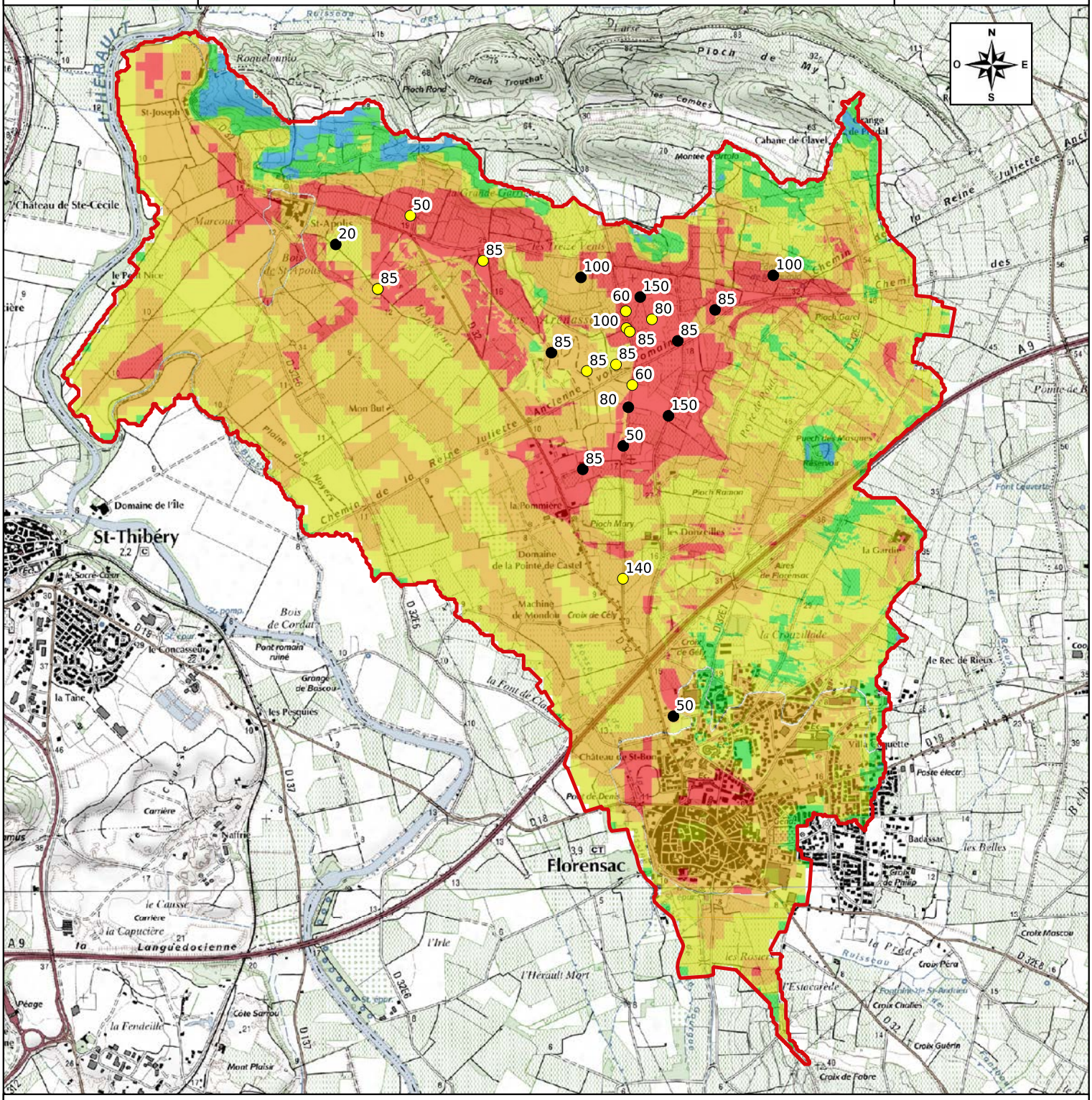
0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

ECHANTILLONNAGE DES SABLES ASTIENS
Vulnérabilité intrinsèque Version 1 - pondération n°1
- Secteur de Florensac -

9b



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/30 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Point échantillonné - présence des sables astiens
profondeur de la reconnaissance atteinte (cm)

- oui
- non

Indice de vulnérabilité

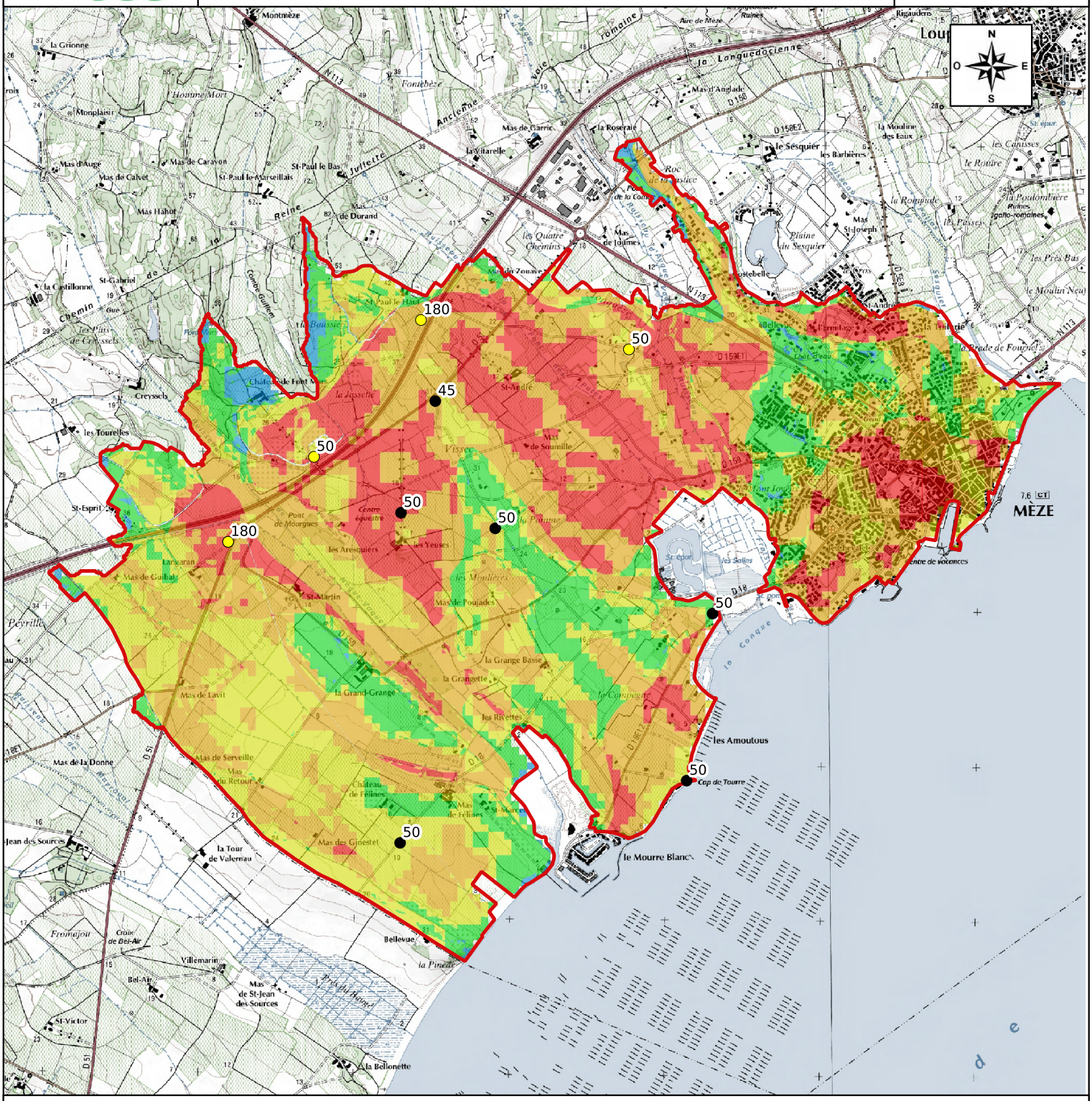
- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

berga sud

ECHANTILLONNAGE DES SABLES ASTIENS
Vulnérabilité intrinsèque Version 1 - pondération n°1
- Secteur de Mèze -

9c



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMERISÉS AU 1/25 000 - AGRANDISSEMENT AU 1/35 000 -

Zone de vulnérabilité étendue aux bassins versants hors cours d'eau

Point échantillonné - présence des sables astiens
profondeur de la reconnaissance atteinte (cm)

- oui
- non

Indice de vulnérabilité

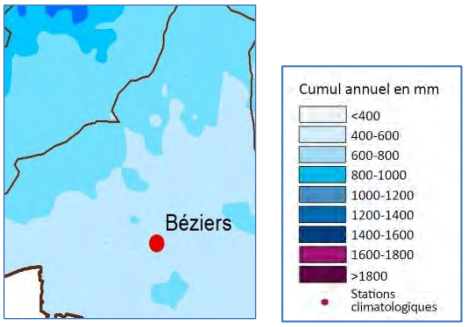
- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

0 1 2 km

BERGA-Sud - Astien - 34/Ast. B 16 093

A N N E X E S

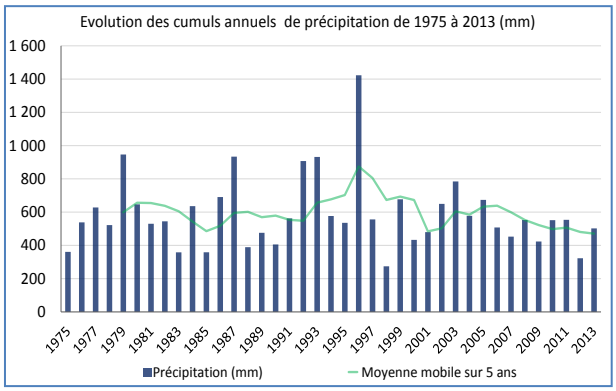
Fiche 1b Béziers : Pluviométrie

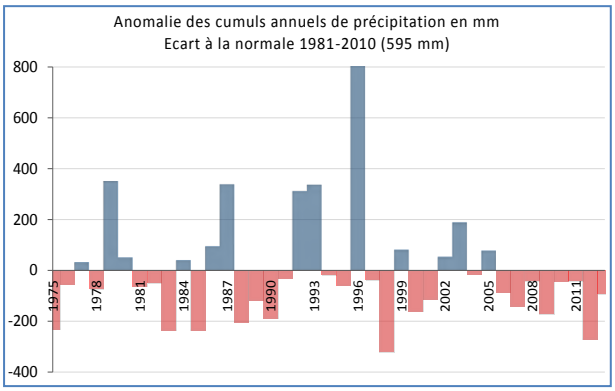


Altitude : 20 m
Distance à la mer : 15 km
Année début mesures : 1948
Propriétaire : Météo-France
Département
Moyenne annuelle : 600 mm
Minimum : 274 mm en 1998
Maximum : 1 420 mm en 1996

Saison :
Moyenne Hiver : 170 mm
Moyenne Eté : 70 mm

CUMULS ANNUELS DES PRÉCIPITATIONS

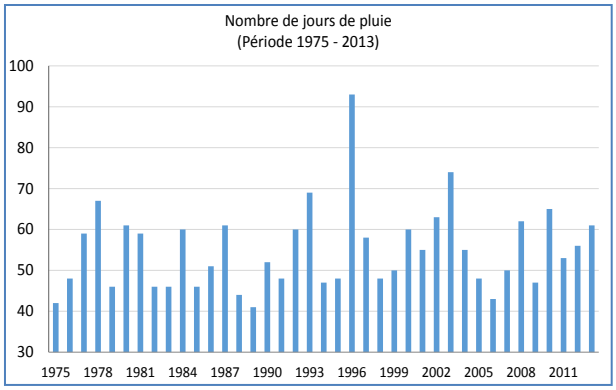


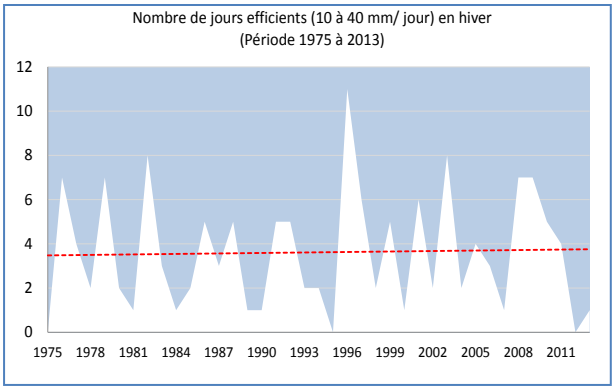


Zone climatique en moyenne plutôt aride avec cependant des cumuls annuels très variables de 270 mm en 1998, à plus de 1 400 mm en 1996.
Répartition saisonnière inégale des précipitations typique du climat méditerranéen avec des étés très secs et des automnes pluvieux, période propice aux épisodes cévenols.

Aucune tendance particulière mise en évidence pour les cumuls annuels ou saisonniers mais, de 2006 à 2013, la plus longue suite d'années déficitaires observée sur la chronique de mesures disponibles, pénalisante pour la recharge des aquifères.

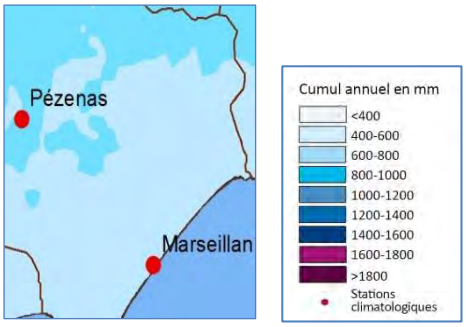
NOMBRE DE JOURS DE PRÉCIPITATIONS





Le nombre annuel de jours de pluie (moyenne de 67 jours) est très variable (de 43 à 115 jours) sans qu'une tendance particulière ne puisse être observée. Le nombre de jours de pluie hivernale efficiente reste globalement stable.

Fiche 6b Marseillan : Pluviométrie

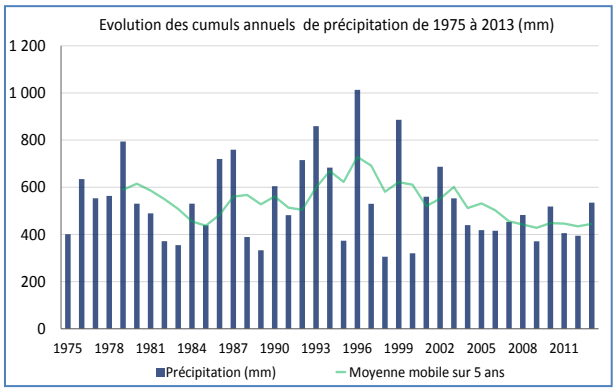


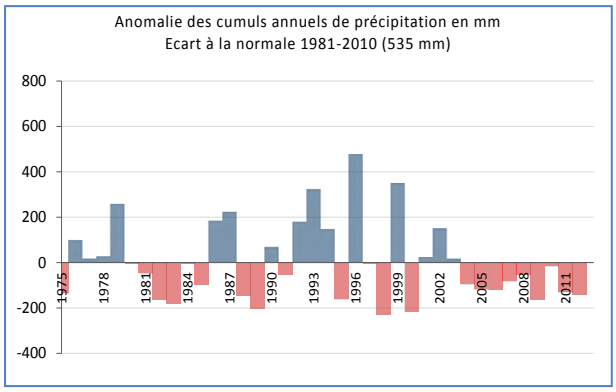
Altitude : 2 m
Distance à la mer : 2 km
Année début mesures : 1966
Propriétaire : INRA

Moyenne annuelle : 535 mm
Minimum : 305 mm en 1998
Maximum : 1 013 mm en 1996

Saison :
Moyenne Hiver : 145 mm
Moyenne Eté : 55 mm

CUMULS ANNUELS DES PRÉCIPITATIONS

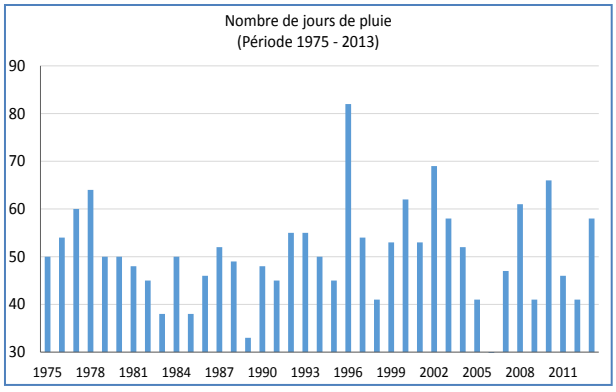


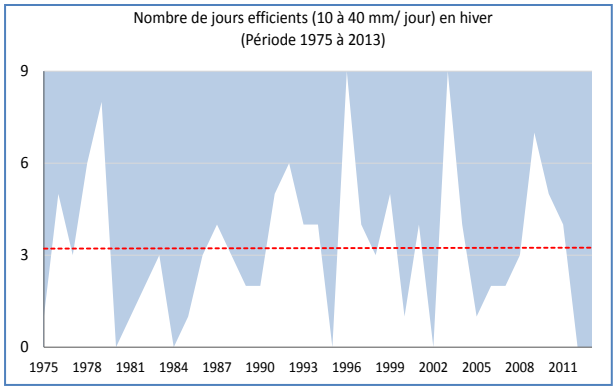


Zone climatique la plus sèche du département avec cependant des cumuls annuels très variables de 305 mm en 1998 à plus de 1 000 mm en 1996.
Répartition saisonnière inégale des précipitations, caractéristique du climat méditerranéen, avec des étés très secs et des automnes pluvieux, période propice aux épisodes cévenols.

Aucune tendance particulière mise en évidence pour les cumuls annuels ou saisonniers mais, de 2004 à 2013, la plus longue suite d'années déficitaires observée sur la chronique de mesures disponibles, pénalisante pour la recharge des aquifères.

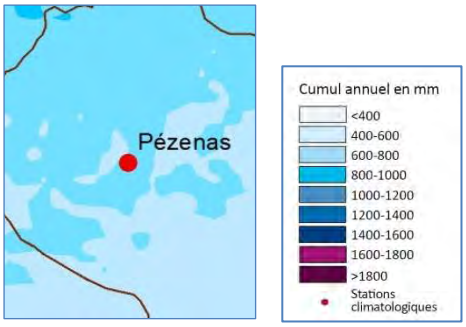
NOMBRE DE JOURS DE PRÉCIPITATIONS





Le nombre annuel de jours de pluie (moyenne de 50 jours) varie fortement entre 26 et 82 jours sans qu'une tendance particulière ne puisse être observée. Le nombre de jours de pluie hivernale efficiente reste globalement stable lui aussi.

Fiche 9b Pézenas : Pluviométrie

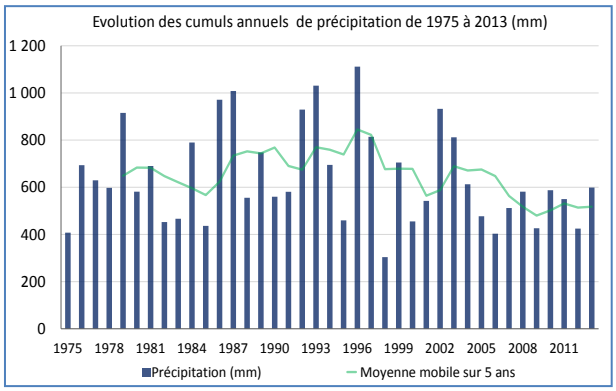


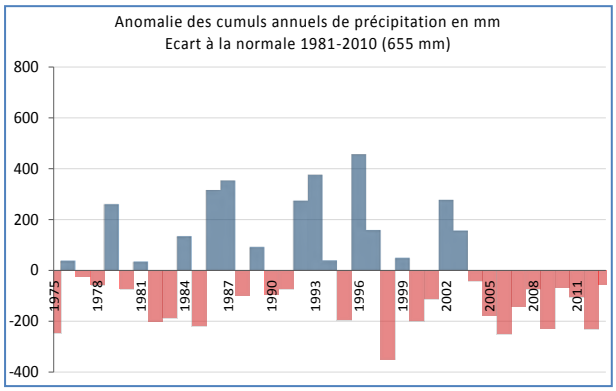
Altitude : 35 m
Distance à la mer : 18 km
Année début mesures : 1948
Propriétaire : ACH - Météo-France

Moyenne annuelle : 655 mm
Minimum : 300 mm en 1998
Maximum : 1 110 mm en 1996

Saison :
Moyenne Hiver : 180 mm
Moyenne Eté : 80 mm

CUMULS ANNUELS DES PRÉCIPITATIONS

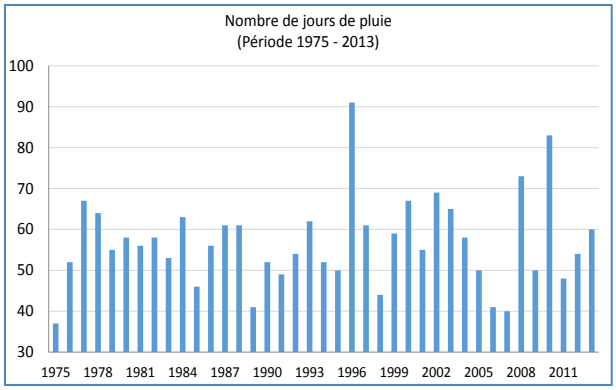


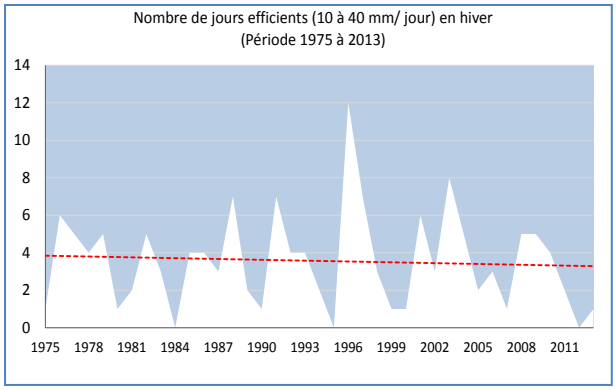


Zone climatique de transition relativement sèche avec des cumuls annuels très variables de 300 mm en 1998 à plus de 1 100 mm en 1996.
Répartition saisonnière inégale des précipitations, typique du climat méditerranéen avec des étés très secs et des automnes pluvieux, période propice aux épisodes cévenols.

Aucune tendance particulière mise en évidence pour les cumuls annuels ou saisonniers mais, de 2004 à 2013, la plus longue suite d'années déficitaires observée sur la chronique de mesures disponibles, pénalisante pour la recharge des aquifères.

NOMBRE DE JOURS DE PRÉCIPITATIONS





Le nombre annuel de jours de pluie (moyenne de 57 jours) varie fortement entre 43 et 115 jours sans qu'une tendance particulière ne puisse être observée. Le nombre de jours de pluie hivernale efficiente reste globalement stable lui aussi.