

Directive Inondation

Bassin Rhône-Méditerranée

Cartographie des surfaces inondables et des risques des Territoires à Risques Important d'inondation (TRI) du bassin Rhône-Méditerranée

Annexe II : compléments méthodologiques

(commune à l'ensemble des TRI du bassin)

SOMMAIRE

I.GÉNÉRALITÉS SUR LA MODÉLISATION DES DÉBORDEMENTS DE COURS D'EAU.....	4
II.DESCRPTION DE LA BASE DE DONNÉES SHYREG.....	5
III.DESCRPTION DE L'OUTIL DE MODÉLISATION CARTINO.....	7
IV.DESCRPTION DE LA MÉTHODE RETENUE POUR LA CARTOGRAPHIE DES SUBMERSIONS MARINES SUR LE LITTORAL MÉDITERRANÉEN.....	8
V.DESCRPTION DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION DE LA POPULATION PERMANENTE DANS LA ZONE POTENTIELLEMENT TOUCHÉE.....	19
VI.DESCRPTION DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION DES EMPLOIS.....	20
VII.DESCRPTION DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION DE LA POPULATION SAISONNIÈRE....	21
VIII.MÉTADONNÉES DU SIG STRUCTURÉES SELON LE STANDARD COVADIS DIRECTIVE INONDATION.....	26

Pilotage de la rédaction du document

DREAL de bassin Rhône-Méditerranée

Services contributeurs

Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR)

CETE Méditerranée

DREAL Bourgogne

DREAL Franche-Comté

DREAL Languedoc-Roussillon

DREAL Provence-Alpes-Côte-d'Azur

DREAL Rhône-Alpes

I. Généralités sur la modélisation des débordements de cours d'eau

La cartographie des surfaces inondables des TRI est régie par des principes et contraintes définies par la Direction Générale de Prévention des Risques : échelle de représentation des cartes est fixée au 1/25000^e ; intervalles de périodes de retour fixées pour les événements fréquents [10-30ans], moyen [100-300ans] et extrême[> 1000ans] ; représentation des paramètres pour les cartes de surfaces inondées (classes de hauteurs d'eau, vitesses le cas échéant, effet des ouvrages lorsqu'il est connu, ...).

Le déroulement des études techniques permettant de produire les cartes des surfaces inondables a reposé sur une suite progressive d'analyses, d'expertises et d'études complémentaires à savoir :

- l'identification du périmètre d'étude et du bassin de risque ;
- le recensement et la collecte des données et des résultats d'études existants et disponibles ;
- l'analyse de la pertinence de ces données et études au regard des principes et contraintes exigées pour la cartographie ;
- la détermination des scénarios de crue à utiliser pour les 3 niveaux de probabilités ;
- l'élaboration d'expertises ou études complémentaires nécessaires pour établir ou compléter les cartes.

La reprise des cartographies et données existantes a reposé sur une évaluation de leur pertinence par rapport aux critères retenus :

- hypothèses hydrologiques (qualification des débits) à la base de l'élaboration des cartes (étendue des séries de données caractéristiques, prise en compte des affluents dans l'influence du régime hydrologique, ...).
- modélisations hydrauliques utilisées (1D, 1D à casiers, 2D), pas spatial de modélisation employé, type d'interpolation employé, crues de calage du modèle, objectif de la modélisation initiale, ...
- données topographiques exploitée dans la définition de l'aléa (niveau d'eau au regard du terrain naturel) : qualité (précision, résolution), étendue, date de production, représentation du lit mineur, ...

L'élaboration d'expertises et/ou d'études complémentaires ou nouvelles a donc porté sur un ou plusieurs de ces 3 critères (hydrologie, hydraulique, topographie).

Sur certains territoires, les données hydrologiques et hydrauliques existantes ont pu être utilisées et les cartes d'aléa ont été réalisées en exploitant la topographie LIDAR la plus récente.

Sur d'autres territoires, la ré-exploitation de ce type de données n'a pas toujours été possible pour la modélisation de certains événements. Par ailleurs, le lancement d'une étude nouvelle n'a pas forcément pu être envisagée pour tenir compte des délais de production demandés par la Directive inondation.

Deux types d'outils ont été mis à disposition des services de l'Etat pour tenter de pallier à ces difficultés : la base de données SHYREG pour compléter les informations hydrologiques lacunaires et l'outil de modélisation simplifiée CARTINO. Ces deux outils sont décrits dans les chapitres suivants.

II. Description de la base de données SHYREG

Le Contexte

L'approche inédite de la Directive inondation et des nouvelles orientations de la politique française en matière de réduction des conséquences négatives potentielles des inondations a conduit la DGPR à se rapprocher du domaine de la recherche et en particulier des organismes qui développent des méthodes abouties et intégrées de détermination de l'aléa. Dans le cadre de ses activités de recherche et d'appui aux politiques publiques, l'IRSTEA¹ a mis en œuvre la méthode SHYREG afin d'estimer des quantiles de débits de crue sur l'ensemble du territoire métropolitain. L'aboutissement de ce travail est une base de données informatique des débits de crue estimés pour différentes durées et pour différentes périodes de retour (entre 2 et 1000 ans) en tout point du réseau hydrographique.

Qu'est ce que la méthode SHYREG ?

La méthode SHYREG est une méthode d'estimation de l'aléa hydrologique, basée sur la régionalisation (prise en compte homogénéisée des caractéristiques locales) de paramètres de modèle (générateur de pluie et modélisation hydrologique). Cette régionalisation implique la prise en compte de variables locales pouvant influencer le régime hydrologique naturel de surface et consécutif à une précipitation. Par contre, la présence d'éléments perturbateurs au ruissellement de surface comme des ouvrages de type barrages, le karst, l'influence de la fonte nivale ou d'un bassin versant particulièrement urbain peut faire baisser la fiabilité de la donnée.

Sous quelles formes se présentent les données SHYREG ?

Il faut distinguer deux types de données abouties pour SHYREG :

La base de données SHYREG-Débit bassin versant : cette base contient les quantiles de crues estimés par la méthode SHYREG à l'exutoire des bassins versants de calcul. Il s'agit des quantiles des débits pour un certain nombre de durées (pointe et de 1 à 72 h) et de périodes de retour ($T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000$) calculés aux exutoires de cours d'eau utiles à la prévision des crues (exutoires dits « SCHAPI ») et fournis sur la France métropolitaine. De cette base peuvent être déduits les hydrogrammes de crues mono fréquences (crues de projet)

La base de données SHYREG-Débit Pixel : Cette base correspond aux débits de pointe cumulés le long du réseau hydrographique (pour les bassins versants $> 5 \text{ km}^2$) pour les périodes de retour 10, 30, 100, 300, 1000 ans et représentés sous forme d'information géographique selon un maillage du territoire (pixel de 50 x 50 m), sur la France métropolitaine.

Pourquoi utiliser la méthode SHYREG ?

Ce type de méthode permet de s'affranchir des biais de la statistique et des méthodes d'échantillonnage lorsque les séries de données (pluie ou débit) disponibles sont trop courtes ou très imprécises.

Une telle méthode permet de générer artificiellement des séries très longues de données pluviométriques et de connaître leurs résultantes hydrologiques en prenant en compte les spécificités locales (mais « régionalisées ») du sol, de son occupation, de la topographie, du contexte hydrométéorologique.... En outre, cette méthode s'avère très utile dans les bassins versants non jaugés (sans données hydrologiques) et là où la variabilité spatiale des pluies peut être forte (en cas de forts gradients altimétriques ou dans les régions méditerranéennes). La prise en compte de ces gradients, plutôt que l'utilisation d'une série observée sur un site plus ou moins proche de la zone étudiée donne des résultats bien meilleurs.

¹ Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, pour plus de détails sur cet organisme cf. <http://www.irstea.fr>

Les limites d'utilisation de la méthode et précaution à prendre avec la donnée

Comme toute méthode, les estimations fournies par la méthode SHYREG sont soumises à un certain nombre d'incertitudes. La méthode SHYREG a été calée sur des bassins versants jugés « non influencés » (présences de retenues par exemple), c'est-à-dire correspondant à des fonctionnements dits « naturels ». Or certains bassins présentent des fonctionnements pouvant être contraints par différentes configurations mettant en défaut la méthode. Par exemple, les superficies des bassins versants étudiés varient entre 5 et 5000 km², et il est conseillé de limiter l'application de la méthode à des bassins versants dans cette gamme de superficie.

De plus, dans sa version actuelle, la méthode repose sur une approche régionale globale. Elle ne prend pas en compte certaines caractéristiques très spécifiques des bassins versants : bassins versants karstiques, très urbains, influencés par des aménagements, bassins versants avec des champs d'expansion des crues significatifs ou dans le cas d'une forte influence nivale, ... L'application pour de tels bassins versants risque d'être incorrecte.

Pour signaler ces zones particulières pour lesquelles les quantiles SHYREG ont tout de même été calculés, un indice de confiance est proposé pour qualifier le degré d'applicabilité de la méthode. Il est important que l'utilisateur soit sensibilisé par l'alerte donnée par cet indice de confiance dans le cas où les spécificités locales rendent les résultats inappropriés.

Cette incertitude est d'autant plus grande que l'on s'intéresse aux périodes de retour élevées. Il convient alors d'être prudent dans l'utilisation des quantiles pour ces périodes de retour. Ces quantiles restent une estimation régionale de l'aléa hydrologique, en prenant en compte au mieux (calage) les informations pluviométriques disponibles et les spécificités des bassins versants jaugés dans un voisinage proche.

C'est pourquoi, en aucun cas, l'approche ne se substitue à une étude hydrologique proprement dite qui prendrait en compte les spécificités des bassins versants, de l'occupation de l'espace, du réseau hydrographique, ... et le savoir faire de l'hydrologue. Ceci est particulièrement vrai dans le cadre de l'élaboration d'une cartographie PPR.

Cependant, même si des voies d'amélioration sont entrevues, la méthode présente actuellement des performances qui restent largement acceptables pour une utilisation opérationnelle, en particulier pour pallier au manque d'approches opérationnelles pour cartographier à grande échelle un événement rare pour lequel les méthodes classiques montrent leurs limites en termes d'efficacité. En complément, un travail d'analyse hydrologique a donc été effectué en s'appuyant sur les chroniques mesurées (banque hydro, ...) et/ou renseignées dans le cadre d'études existantes (données des PPRi, ...).

SHYREG propose en plus une estimation homogène et cohérente (issue d'une seule régionalisation) de l'ensemble des caractéristiques statistiques de l'aléa hydrométéorologique (IDF, débit de pointe, volumes de crues,...) nécessaires à l'évaluation des risques hydrologiques.

III. Description de l'outil de modélisation CARTINO

Les principes de la modélisation de CARTINO

CARTINO PC est un outil pour réaliser des modélisations 1D simplifiées, développé par le CETE Méditerranée avec l'appui du CETMEF, qui permet d'élaborer des cartographies de surfaces inondables à partir de données hydrologiques (issues de la BD Shyreg) et de données topographiques (Modèle Numérique de Terrain). Cet outil est plus particulièrement adapté pour la caractérisation des surfaces inondables d'un événement extrême, mais peut également être utilisé pour les événements fréquents et moyens, accompagné alors d'une expertise hydraulique plus forte.

Cet outil a notamment été développé dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Inondation pour aider les services à caractériser les surfaces inondables là où aucune étude ne pouvait être exploitée.

Le calcul se fait dans premier temps sur chaque bief isolément :

- il crée les profils en travers de façon automatique avec une largeur d'emprise correspondant à la surface drainée et un pas entre profils lié à cette largeur (par exemple 1 profil tous les 1/3 de largeur).
- le calcul hydraulique (permanent, itératif) est mené avec les codes de calcul Flutor, afin d'agrandir les profils en travers jusqu'à ce que leur largeur soit suffisante pour décrire la vallée mouillée (sans « saut » de charge aux extrémités des profils). Cette étape consiste à interpoler sur les données MNT et débits sur chaque trace de profil en travers.
- il crée des profils en travers sur le bief, de largeur et de distance entre profils issus de l'emprise des résultats Flutor, en évitant les croisements.
- le même calcul itératif est ensuite mené sur ces nouveaux profils, en utilisant les codes Flutor et Mascaret en parallèle.

A la fin de cette méthode, les résultats du calcul sont post-traités sur chaque bief et assemblés sur tous les biefs. Les résultats ainsi obtenus sont représentés en classes de hauteurs de charge calculées à partir de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne sur le profil par la formule $H=h+V^2/2g$. A titre d'illustration, pour des vitesses de 1m/s et de 3m/s, l'écart entre h et H est respectivement d'environ 5cm ou de 50cm. Cette représentation des résultats permet de sécuriser l'approche dans les zones à fortes vitesses en particulier les crues rapides sur des pentes fortes.

Un module de reprise de calcul est ensuite utilisé pour préciser les résultats obtenus (modification de profils en travers pour pouvoir les adapter à des structures hydrauliques importantes, gestion des frottements, etc).

Les limites d'utilisation de la méthode et précaution à prendre avec la donnée

CARTINO PC se base sur des modélisations classiques mono-dimensionnelles. Il a donc les mêmes limites que les modèles mono-dimensionnels à savoir qu'il n'est pas forcément adapté aux cas comme les plaines en toit, les lits perchés, les rivières avec plusieurs chenaux (...) et considère que le niveau d'eau est moyenné sur la section de calcul. Excepté quelques cas après reprises, il n'y a pas de distinction entre lit mineur et lit majeur.

Le calcul s'effectue en mode permanent, mode majorant en particulier dans les cas avec des grandes zones d'expansion de crues.

Les hypothèses de prises en compte des ouvrages de protection longitudinaux ne peuvent être gérées qu'au cas par cas. Les ouvrages de type digues sont considérés comme transparents. Ils apparaissent ensuite comme des zones « hors d'eau » dans les images finales de par une topographie plus élevée.

Les données topographiques utilisées sont une donnée essentielle du résultat. Sur les petits cours d'eau ou les cours d'eau en eau, les topographies issues de survol aérien ne prennent pas, ou peu, en compte le lit mineur. Les erreurs peuvent être importantes lorsque la capacité du lit mineur est conséquente par rapport au débit total (surestimation des hauteurs d'inondations). Les ouvrages de franchissement (ponts, remblais transversaux, ...) qui peuvent générer des pertes de charges hydrauliques ne sont pas pris en compte systématiquement ou tout du moins de manière fine.

Dès lors, l'exploitation des données obtenues à partir de cet outil a fait l'objet d'une analyse hydraulique complémentaire. L'exploitation des études hydrauliques, hydrologiques et topographiques connues a permis d'évaluer les biais éventuels pour en corriger les paramètres (modification des profils en travers, coefficients de frottement, ...). Plus particulièrement, lorsqu'un PPRi a été réalisé sur le cours d'eau considéré, celui-ci est considéré comme source d'étalonnage du modèle. Les données ayant servi à l'élaboration des PPR sont par conséquent utilisées en priorité pour caler le modèle.

IV. Description de la méthode retenue pour la cartographie des submersions marines sur le littoral méditerranéen

Le Contexte

La phase de cartographie de la Directive inondation demande de tenir compte d'un niveau marin extrême. Son évaluation a été réalisée à l'échelle de la Méditerranée en cohérence avec la doctrine PPRL pour la façade méditerranéenne.

Étant donné les incertitudes qui existent de part les mesures marégraphiques, leurs localisations, les ajustements statistiques et des effets locaux difficiles à estimer, d'autant plus que l'on recherche des événements rares, il a été choisi d'utiliser une estimation qui s'appuie sur les niveaux déjà utilisés dans les PPRL.

Dans un premier temps, les niveaux marins à Sète sont présentés car la doctrine PPRL de la Méditerranée s'est initialement appuyée sur ces niveaux. Ensuite l'application numérique est effectuée suivant la même méthodologie sur l'ensemble de la Méditerranée.

L'estimation du niveau centennal (application à Sète)

Le niveau centennal définit dans la doctrine PPRL de la Méditerranée est de 2 m NGF. Ce niveau est utilisé dans la cartographie de la Directive inondation pour le niveau moyen. Ce niveau peut être décomposé de la manière suivante :

- **Marée**, celle-ci est calculée par le SHOM ;
- **Surcote au marégraphe**, celle-ci correspond à la différence entre l'observation et la marée prédite. Suivant l'exposition du marégraphe, une partie de cette composante peut être de la surélévation liée aux vagues difficile à dissocier de la surcote météorologique. Le CETMEF et le CETE Méditerranée ont réalisé des statistiques de valeurs extrêmes sur cette composante surcote. Les résultats de l'étude donnent les surcotes extrêmes issues des ajustements pour différentes périodes de retour, la valeur médiane et la valeur de l'intervalle de confiance à 70% sont données. Pour le calcul du niveau marin total, la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70% est préconisé au vu des incertitudes qui pèsent sur les données et sur les ajustements. De plus les valeurs de surcote ajustées sont les valeurs horaires et celles-ci peuvent être dépassées de quelques dizaines de centimètres pendant des intervalles de temps plus courts ;
- **Surélévation locale**, des formules empiriques existent pour le calcul de cette composante, par exemple celles de Stockdon. Dans ces formules la surélévation liée aux vagues est proportionnelle à la racine carrée du produit de la hauteur de la houle avec sa longueur d'onde. Le coefficient de proportionnalité varie suivant les cas de figure de condition dissipative ou non et de présence d'onde infragravitaire.

Il s'agit donc dans un premier temps de décomposer, de manière théorique, ce niveau global de 2 m NGF. En première approche, on se basera sur les données de Sète.

En toute rigueur, les composantes marée et surcote météorologique ne sont pas décomposables en 2 valeurs, un produit de convolution est par exemple utilisé en Manche-Atlantique.

Pour le niveau centennal, la marée prise en compte de manière arbitraire est celle d'un coefficient de 95-100 (Marée moyenne de vives-eaux), correspondant à un niveau de **0,35m NGF**.

Pour la surcote au marégraphe centennale, l'étude CETMEF-CETE Méditerranée (2013) est utilisée avec comme estimation de la surcote la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70% soit **0,77 m**.

A ces deux composantes, s'ajoute une composante liée à la houle (le wave set-up). Le niveau de wave set-up est calculé selon la formule de Stockdon et al. (2006) :

$$\eta = \alpha * (H_0 L_0)^{1/2}$$

où :

η : set-up (m)

α : coefficient de proportionnalité qui varie suivant les cas de figure de condition dissipative ou non et de présence d'onde infragravitaire. Dans le cas du présent calcul ce coefficient va être ajusté de façon à avoir un niveau total cohérent à Sète. Une fois l'exercice réalisé, le coefficient est de 0,022. La théorie le donne entre 0,016 et 0,039.

H_0 : hauteur significative de la houle au large (m)

L_0 : longueur d'onde de la houle au large, avec $L_0 = (g * T^2) / (2\pi)$ (m) où g est la gravité ($m.s^{-2}$) et T la période de pic de la houle (s).

La hauteur des vagues nécessaire aux calculs provient de la base de données ANEMOC (EDF-CETMEF). Des ajustements statistiques sur des hauteurs de houles modélisées à partir de 30 années de vent ont permis le calcul des hauteurs significatives de la houle centennale au large. Celle-ci est de 6,8 m au point MEDIT 2809 au large de Sète.

Pour la longueur d'onde, une période de la houle de 12s est utilisée pour la houle centennale.

On obtient une surélévation due à la houle de $\eta = \mathbf{0,86m}$.

Si l'on somme l'ensemble de ces composantes, on obtient un niveau de 1.98m NGF arrondi à **2m NGF**.

L'événement centennal est ainsi estimé à 2m NGF à Sète.

Il est à noter que ce niveau n'intègre pas de composante d'élévation du niveau marin dans son estimation.

Estimation du niveau extrême (application à Sète)

Pour le niveau millénal, la marée est suivant la méthodologie DI prise égale à la Plus Haute Mer Astronomique soit **0,47 m NGF**.

D'après l'étude CETMEF-CETE Méditerranée (2013), la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70% de la surcote millénale est de **1,06m**.

Il reste à estimer la surélévation locale extrême. La formule de Stokdon avec un coefficient α de 0,022 (cf paragraphe ci-dessus) est utilisée, avec une hauteur significative de la houle millénale de 9,8 m (ANEMOC au point MEDIT 2809, calculée à partir des données de la loi GPD). Pour la longueur d'onde, une période de la houle de 14s est utilisée pour la houle millénale.

On obtient une surélévation due à la houle de $\eta = \mathbf{1,21m}$.

Au final pour la situation extrême, à Sète, on somme :

- la composante marée PHMA (0.47mNGF),
- la composante surcote météorologique au marégraphe millénale (1.06m),
- la composante surélévation locale basée sur la houle millénale (1.21m).

La résultante donne un niveau marin extrême de 2,74 m NGF, qui est arrondi à **2,80m NGF**.

On obtient ainsi un niveau marin extrême de 2,80m NGF selon la définition retenue par la méthodologie DI.

Il est à noter que ce niveau n'intègre pas de composante d'élévation du niveau marin dans son estimation.

Estimation sur l'ensemble de la Méditerranée

Pour l'ensemble de la Méditerranée le niveau choisi pour l'événement moyen est de 2 m NGF et celui pour l'événement extrême de 2.80 m NGF. La même application numérique exposée aux paragraphes précédents est réalisée sur l'ensemble des ports de la Méditerranée. Une différence entre le niveau calculé et le niveau choisi, est alors donnée.

Cette différence varie suivant le site mais reste cohérent et explicable. A l'exception de Marseille, cette différence est comprise entre **+/- 15 cm pour l'événement moyen et +/- 30 cm pour l'événement extrême**.

Marseille est un cas particulier, les niveaux choisis seraient d'après les calculs sous-estimés or les données de surcote au marégraphe sont fortes car d'une part le marégraphe est le seul qui ne soit pas situé dans un port, du coup il enregistre plus d'ondes liées aux vagues, et d'autre part à un fonctionnement reconnu incertain par la communauté scientifique.

D'après les calculs une sous-estimation apparaît également à Ajaccio. Ce marégraphe est également dans la partie la moins abritée du port. De plus un horsain (tempête du 1er janvier 2010) est présent qui tire vers le haut les ajustements.

	Port-Vendres	Sète	Marseille	Toulon	Nice	Monaco	Ajaccio	
Scénario moyen	PMVE (mNGF)	0.32	0.35	0.24	0.25	0.24	0.25	0.15
	Surcote 100 ans – médiane	0.61	0.68	1.11	0.57	0.65	0.65	0.8
	Surcote 100 ans – IC70%	0.75	0.77	1.34	0.66	0.79	0.85	1.01
	Surélévation locale	0.88	0.86	0.85	0.96	0.85	0.84	0.98
	Base ANEMOC	MEDIT 3044	MEDIT 2809	MEDIT 4302	MEDIT 7390	MEDIT 6981	MEDIT 7146	MEDIT 7722
	Hs (m)	7.1	6.8	6.6	8.6	6.7	6.6	8.9
	Ls (m)	225	225	225	225	225	225	225
	Différence entre le niveau choisi et calculé	0.05	0.02	-0.43	0.13	0.12	0.06	-0.14
	Niveau moyen choisi (mNGF)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Scénario extrême	PHMA (mNGF)	0.44	0.47	0.37	0.39	0.36	0.37	0.27
	Surcote 1000 ans – médiane	0.76	0.83	1.34	0.67	0.84	0.83	1.06
	Surcote 1000 ans – IC70%	1.04	1.06	1.75	0.84	1.13	1.28	1.5
	Surélévation locale	1.18	1.21	1.14	1.28	1.13	1.14	1.26
	Base ANEMOC	MEDIT 3044	MEDIT 2809	MEDIT 4302	MEDIT 7390	MEDIT 6981	MEDIT 7146	MEDIT 7722
	Hs (m)	9.4	9.8	8.7	11.1	8.7	8.8	10.8
	Ls (m)	306	306	306	306	306	306	306
	Différence entre le niveau choisi et calculé	0.14	0.06	-0.46	0.29	0.18	0.01	-0.23
	Niveau moyen choisi (mNGF)	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80

exposition du marégraphe

abrité

abrité

très exposé

très abrité

abrité

abrité

peu abrité

L'estimation d'un niveau marin extrême de 2,80 m NGF pour l'ensemble de la Méditerranée est cohérente par rapport aux données disponibles sur l'ensemble des ports.

Éléments d'analyse historiques relatifs à l'estimation de l'aléa extrême de submersion marine dans le Golfe du Lion

L'outil privilégié pour mesurer scientifiquement les variations du niveau de la mer est le marégraphe côtier. Ces instruments ont été mis en place sur les côtes françaises à partir du XIXe siècle. Les observations in situ, enregistrées sur papier (les marégrammes) constituent une référence historique en fournissant la variation relative du niveau de la mer par rapport à la côte.

Sur le Golfe du Lion, la qualité de ces observations ne permet de travailler que sur la période des trente dernières années. L'analyse statistique de ces données numériques permet d'estimer un niveau marin extrême à la côte de 2,80m (cf. points précédents).

L'objectif de ce paragraphe est de recenser l'ensemble des éléments historiques et d'analyse des archives sédimentaires lagunaires permettant de conforter cette estimation du niveau marin extrême en Languedoc-Roussillon.

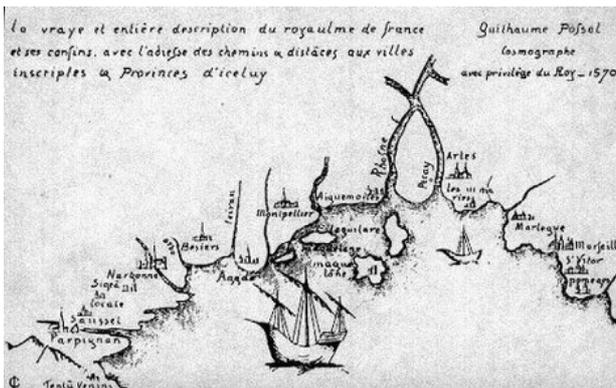
Éléments historiques

Les éléments relatifs à la climatologie de la frange littorale du Golfe du Lion sont rares, pour l'ensemble des raisons suivantes :

- en raison de l'existence d'espaces lagunaires le long du littoral, favorables au développement de moustiques facteurs de maladies mortelles (paludisme), l'implantation humaine s'est développée principalement en rétro-littoral à l'exception des rares ports maritimes régionaux.

La frange littorale se montrant par ailleurs peu favorable au développement de l'agriculture, ces espaces littoraux ont été délaissés. Aussi, les tempêtes susceptibles d'affecter notablement le littoral n'apparaissent dans les chroniques historiques qu'à proximité des enjeux littoraux que sont les ports et les communes riveraines des lagunes, côté terre.

- Le littoral du Golfe du Lion a été marqué, du fait de sa nature sableuse, par une forte évolution de sa géographie au cours du dernier millénaire. Ainsi, au XVI^e siècle, les lagunes languedociennes ne sont pas encore formées, comme en atteste la carte suivante de 1570. Les lidos se forment progressivement au XVII^e et XVIII^e siècle pour isoler entre Agde et le Grau du Roi un étang unique, l'étang du Mergueil. Ces évolutions de la frange littorale sont au final peu propices à l'établissement de chroniques comparables dans le temps des évènements climatiques extrêmes et de leurs conséquences.



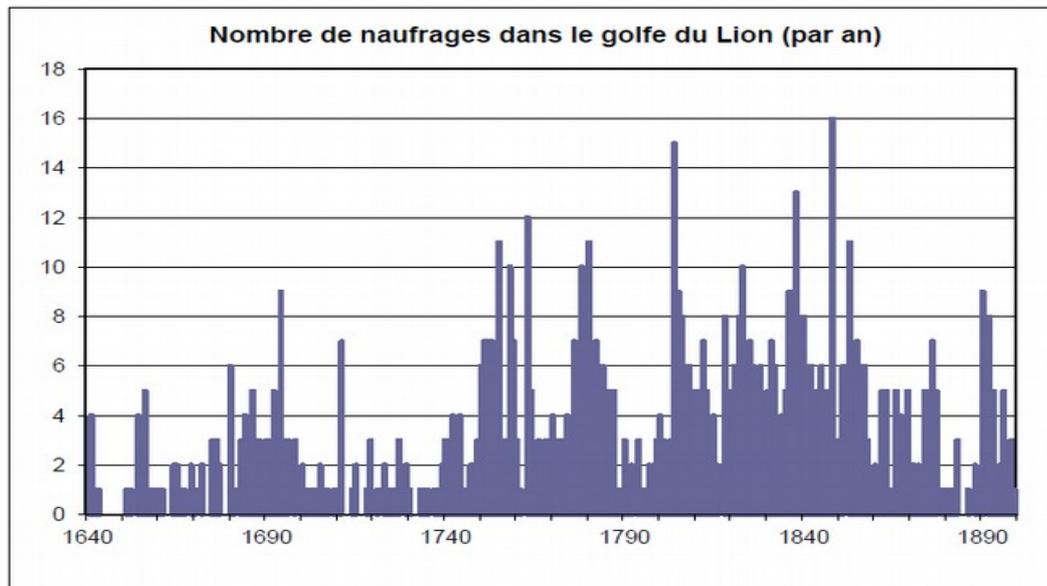
Carte du Golfe du Lion, 1570.



Carte du Golfe du Lion, 1719.

Pour l'ensemble de ces raisons, aucune donnée de hauteur d'eau atteinte par une submersion historique n'a pu être retrouvée. Les informations sont qualitatives et non quantitatives. Elles ont trait pour l'essentiel aux naufrages de navires sur le littoral languedocien (1) et aux calamités agricoles occasionnées par les submersions (2).

Gilbert LARGUIER, de l'Université de Perpignan Via Domitia dénombre 828 naufrages entre 1640 et 1899 dans le Golfe du Lion, avec des recensements ne concernant que le seul secteur de Narbonne pour le XVII^e siècle, les secteurs de Sète et Collioure n'étant comptabilisés qu'à partir du XVIII^e siècle dans ce décompte qu'illustre le chronographe suivant.



Ces enregistrements concernent des événements générant des pertes importantes, tant en biens qu'en personnels navigants, obligeant les capitaines de navire à déclarer leurs pertes pour rendre compte aux affréteurs et armateurs du navire. Le recensement de ces 828 naufrages est donc largement sous-évalué.

Après avoir évacué les naufrages liés aux guerres ou aux actes de piraterie, Gilbert LARGUIER identifie trois grands cycles tempêteux générateurs de naufrage : la seconde moitié du XVII^e siècle (notamment 1694), la seconde moitié du XVIII^e siècle et enfin une période plus courte allant de 1818 à 1860. Toutefois, il indique que le nombre et la gravité des naufrages sur ces périodes ne sont pas nécessairement corrélées aux tempêtes connues comme les plus importantes dans les chroniques climatiques. Les tempêtes historiques répertoriées sont les suivantes :

- tempête du 4 au 5 décembre 1742 : cette tempête a généré d'importants dégâts sur le port de Sète. La mer est qualifiée de « furieuse » et jette des vagues « à une si haute élévation que les habitants ont eu lieu de craindre d'être submergés ». « Dans l'étang situé derrière le lido, les eaux s'élevèrent au-dessus des digues du canal, "l'étang et la mer s'étant joints". »
- tempête du 6 novembre 1719 : « Une flottille de tartanes y avait été dépêchée pour ravitailler les troupes rassemblées pour faire le siège de la ville. Survint un coup de vent extraordinaire : 27 tartanes dont 22 d'Agde, alourdies par leur cargaison, furent submergées. »
- tempête du début du mois de mars 1694 « le vent avait soufflé durant plusieurs jours, obligeant les barques à rester dans les ports. Le 13, une accalmie leur permit de rallier la Nouvelle afin de prendre livraison du blé pour lequel ils étaient nolisés. Ceci fait, les marins mirent immédiatement à la voile. Ils n'eurent pas avancé d'une dizaine de miles que le temps se gâta brusquement. Une tempête inouïe se leva. Tous les bateaux en mer à ce moment là, même des tartanes de Martigues à l'ancre à côté du cap Leucate qui rompirent leurs amarres, furent jetés sur la plage de la Franqui. » (ADA. Amirauté)
- tempête du 28 février 1797 : « dans un secteur qu'ils fréquentaient depuis toujours, l'orage surprit encore davantage les pêcheurs de Gruissan ».

Gilbert LARGUIER cite également les années 1667, 1683, 1766 et 1848 comme ayant connu de grandes tempêtes d'origine marine, sans illustration de naufrages d'importance.

Philippe BLANCHEMANCHE, du Laboratoire d'Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (Université Montpellier 3) a exploité les archives communales du Languedoc, conservées depuis le XV^e siècle, pour mettre en évidence les événements climatiques ayant généré des inondations et des submersions marines. Il a ainsi identifié les épisodes de tempête suivants :

ANNEE	LIEU	ÉVÉNEMENT	DESCRIPTION	RÉFÉRENCE
1387	Montpellier	TEMPÊTE, VENT	20 juin: il a fait un grand vent à Montpellier et dans tout le terroir, jour et nuit, toutes les herbes de blé sur les aires emportées, arbres abattus (aura= vent qui peut être du Nord ou du sud, plutôt chaud)	P. ALEXANDRE, LE CLIMAT EN EUROPE AU MOYEN ÂGE, EHESS, 1987
1666	Lattes	ORAGE, TEMPÊTE	13 février : au jour de la Fête de Ste Lucie dernière (13 décembre 1666) il arriva un très grand orage que l'eau de l'étang vint submerger tous les patus en sorte que le salan y a fait un grand dommage... Nettoyer les immondices	A. D. H., 129 EDT 4 (EOT= Délibérations communales en dépôt aux AD)
1669	Lattes	TEMPÊTE	18 mai 1669, (...) depuis que le grau s'est ouvert du costé de Maguelonne les eaux salées ont fort grossy, elles ont submergé tous les patus, aussi toutes les terres du tènement des Méjeans et depuis plusieurs habitants ont fait plainte et prié la communauté de pourvoir, et parceque le bétail ne pourra à l'advenir trouver aucun pâturage dans le palus il est nécessaire d'arrêter les eaux salées et faire les réparations nécessaires. Il sera fait des levées avec terre et gazon pour protéger les terres. Concerne aussi les preds de Corrége. 700 livres pour faire les levées. Une levade sera faite en forme de cercle aux fins de détourner le cours de l'eau. 15 août 1669, les consuls ont constaté que l'eau salée a fait un grand dommage depuis que le grau s'est ouvert du côté de Maguelonne, les eaux de l'estan se grossissent au moindre vent marin et les eaux se déchargent dans la palus et pattus de la communauté à brûler les herbes du bétail de labourage; il est certain que la palus et patus deviendrait un marais et outre cela le tènement du terroir des Méjean se perdrait.	ADH 82 EDT 5
1694	Montpellier	Crue + tempête	Débordement extraordinaire du Lez comme quantité d'autres. La mer a grossi, elle couvrait la plage qui sépare la mer de l'étang depuis Agde jusqu'à Aigues-Mortes. Champs et vignes inondés. Maisons renversées. Bétail noyé.	D'Aigrefeuille, Histoire de Montpellier
1712	Villeneuve-les-Maguelone	TEMPÊTE, VENT	12 juin 1712 : le Sr Caila premier consul dit que les grands vents marins ont ravagé la plupart des fruits de tous les lieux maritimes principalement du dit Villeneuve se trouvant fort près de la mer qui est cause que le dommage a esté plus grand qu'aux autres endroits, ayant fait dommages vignes blés segles et autres grains menus(...) expertise demandée	MAIRIE BB3
1712	Sète	VENT, TEMPÊTE	5 mai : les biens en fond ont beaucoup souffert des grands vents de NO et en dernier lieu des grands vents de SSE, de façon que les vignes sont entièrement perdues aussi bien que les seigles	SÈTE AM BB 5 en mairie de Sète
1738	Sérignan	TEMPÊTE	1er Novembre 1738 : Gonflement des eaux de la mer qui se sont répandues ce qui causera un préjudice pendant 6 ans. En 1739, les terres du côté de la mer sont blanches et sans profit.	DELCO SERIGNAN
1742	Lattes	TEMPÊTE	décembre 1742: élévation des eaux de la mer ouverture du grau dans la plage vis à vis de Villeneuve partie de l'étang comblé par les sables, 300 toises de large, jusqu'au canal	ADH, G 2054 (G= Série ecclésiastique)
1742	Sérignan	TEMPÊTE	8 décembre 1742: le 4 décembre 1742 la marée a reflué et à gâter environ 1000 cestiers de semences de blé et autres: elles sont entièrement perdues sans aucun espoir, 2000 cesterées de terre qui sont en restouble ne pourront être semées de quelques années (la cesterée de sérignan= 24,63 ares/ 2000 cesterées= 493ha) 20 mai 1744 : A mesure que les jours rallongent, ces terres deviennent entièrement blanches du fait que les herbes meurent (par le sel).	ADH DELCO SERIGNAN
1742	Villeneuve-les-Maguelone	TEMPÊTE	30 novembre 1743 : le nouveau grau que la tempête a ouvert à l'étang de Maguelone le 4 décembre dernier (1742) ne doit pas être fermé attendu que depuis l'ouverture du grau il a été remarqué que les fièvres et les maladies mortelles dont les communautés voisines sont affligées tous les ans avaient totalement cessé, qu'il faut le laissé dans l'état ou la mer l'a formé mais qu'aussi que les réparations nécessaires pour le maintenir ouvert doivent être faites(...) défense à toutes personnes de le fermer, ni d'y faire aucun établissement ni ouvrages qui puissent y nuire	MAIRIE II 6 : La tempête de décembre 1742 est donc signalée à Lattes, Villeneuve et Sérignan
1790	Pérols	TEMPÊTE	30 mai 1790 : les gros temps de mer survenus cet hiver ont inondé les fossés appelés des Estagnols et les ont rendus impraticables sur une certaine longueur. Le sable de la mer a presque fermé les graus et empêchera les eaux de se rendre pendant cet été aux Estagnols. Ces événements ne peuvent que causer une perte réelle au fermier qui est dans la misère (pêcheries des Estagnols)	ADH 1 MI 627 R 1 Archives communales de Pérols MI= Microfilm
1848	Sète	TEMPÊTE	23 novembre 1848 : « Vent , grand frais au sud toute la nuit, grosse mer du large, à 7h du matin le vent par fortes rafales au SSE, la mer submerge le brise lames et couvre par des grosses lames une partie du môle Saint Louis. Plusieurs navires ancrés dans le bassin ont fait des avaries. A 8h, un navire a chaviré. Aucun homme de l'équipage n'a pu être sauvé »	ADH 4 S 60
1867	Sète	TEMPÊTE	7 janvier 1867 : grosse mer de SO, le 3 mâts américain Costellery (393 tonneaux) en difficulté devant le port	
1869	Sète	TEMPÊTE	6 décembre 1869 : épouvantable tempête	
1870	Villeneuve-les-Maguelone	TEMPÊTE	Mentionne la présence de variolites sur le premier cordon littoral à 3 kms d'Aigues-Mortes Après avoir dépassé Maguelone, longue terrasse de 1500 m, composée uniquement de cailloux sur laquelle était bâtie la caserne des douanes appelée Poste Philippe, qui envahie par la mer à partir de 1864 a été détruite par la tempête les 24 et 25 décembre 1870. Le seul pan de mur qui soit resté est dans l'eau.	Mémoire sur la topographie géologique des environs d'Aigues-Mortes Ch. Martins, Revue des Sciences Naturelles, III, 1874, pp. 43-60
1870	Sète	TEMPÊTE	1er janvier 1870 : vents de SSE, grosse mer	SOURCE: A. MOURET Le sauvetage en mer. Un siècle au large de Sète, ouvrage vendu au profit de la SNSM
1883	Villeneuve-les-Maguelone	TEMPÊTE	12 février: Naufrage sur la plage de la commune du navire italien "La Oulette"	MAIRIE NC
1893	Sète	TEMPÊTE/CYCLON E	septembre: cyclone et coup de vent, naufrages de bateaux dans le port de Sète, toitures emportées	article de journal
1907	Marsillargues	TEMPÊTE	1907: Mer très grosse le 16 octobre	ADG 7M2041, 3S1-332, 7S 296, 7S 571. Coïncide avec une série de crues du Vidourle et de l'Hérault
1923	Castelnau	TEMPÊTE	Violente tempête sur la Méditerranée à partir du 10 novembre, "ouragan" à Sète le 10	signalé par L. Davy (BSLG)
1955	Gignac, Agde Sérignan	TEMPÊTE	Hérault à 8,15m à Gignac et 3,10m à Agde le 7 janvier 1er février: Hérault à 8,80m à Gignac (Hérault), 2,88m à Agde (Hérault) et 1520m3/s à Pont de Bertrand (Hérault), "raz-de-marée" à Sérignan et Sète le 3 février	signalé aussi par Rougé (BSLG)

L'ensemble de ces chroniques atteste de la fréquence et de la violence de tempêtes d'origine marine sur le littoral languedocien depuis le XVII^e siècle.

Si les éléments historiques sont essentiels qualitatifs, on note deux citations permettant d'apprécier qualitativement l'évènement de 1742 : les digues du canal du Rhône à Sète ont été submergées (leur côte moyenne est de 2m NGF) et l'évènement a généré au droit de Villeneuve-les-Maguelone un cône de tempête de 300 toises de long (soit 500m environ), jusqu'au canal du Rhône à Sète, bien supérieur à celui de la tempête de 1982, évènement récent maximal enregistré.

Il existe ainsi des événements historiques pour lesquels le niveau marin a été supérieur à 2,00 m NGF et donc d'occurrence plus faible que l'évènement centennal en Méditerranée.

Apports de la paléotempestologie

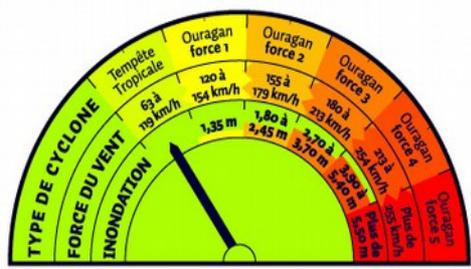
En l'absence d'enregistrements historiques quantitatifs, la paléotempestologie (Liu and Fearn, 1993) est une méthode scientifique qui permet de reconstituer les tempêtes et les cyclones du passé à partir d'archives sédimentaires. Cette méthode utilise des traceurs géologiques comme la granulométrie, la géochimie ou les bio-indicateurs et se concentre sur l'étude des « cônes de tempête » qui se forment à la suite d'un cyclone ou d'une tempête extrême en arrière d'un cordon littoral sableux.

Les extensions horizontales de ces niveaux sableux sont soumises à différents facteurs comme l'intensité et la durée de la tempête, la hauteur des vagues, la direction du vent par rapport au lido, l'épaisseur du lido et la quantité de sable disponible, la configuration de la côte avec la présence ou non de passe, la morphologie de la lagune ainsi que la succession de plusieurs événements extrêmes.

Cette méthode a été utilisée par Pierre Sabatier pour l'étude d'un cône de tempête sur le lido de Villeneuve-les-Maguelone et l'étang de Pierre-Blanche ; elle a ainsi donné lieu à la rédaction d'une thèse : Reconstitution des évènements climatiques extrêmes (crues et tempêtes) au cours de l'Holocène dans le Golfe d'Aigues-Mortes (Sud de la France), Pierre Sabatier, 2009.

A partir du croisement entre les archives sédimentaires, datations au Plomb, Cesium et Carbone, et les archives textuelles historiques, Sabatier et al. ont mis en évidence sur les 2000 dernières années quatre événements de tempêtes majeures qui ont pu être datés à environ 800, 1742, 1839 et 1893 dans le Golfe d'Aigues-Mortes. L'évènement de tempête de 1982 qui est l'évènement de référence enregistré lors du dernier demi-siècle, de période de retour estimée entre 30 et 50 ans et de catégorie 2 sur l'échelle de Saffir-Simpson pour les cyclones, n'apparaît pas dans l'analyse des archives sédimentaires prélevées. Il apparaît donc que ces événements anciens étaient beaucoup plus puissants que la tempête de 1982.

Echelle de Saffir-Simpson			
Classe	Pression	Marée de tempête	Vents
1	>ou = à 980 hPa	1 - 1,7 m	118 à 153 km/h
2	979 à 965 hPa	1,8 - 2,6 m	154 à 177 km/h
3	964 à 945 hPa	2,7 - 3,8 m	187 à 209 km/h
4	944 à 920 hPa	3,9 - 5,6 m	210 à 249 km/h
5	- de 919 hPa	5,7 - 19m	> à 249 km/h



Encart : L'échelle de Saffir-Simpson est l'échelle de classification de l'intensité des cyclones tropicaux, nommés « ouragans », se formant dans l'hémisphère ouest, qui inclut les bassins cycloniques de l'océan Atlantique et l'océan Pacifique nord à l'est de la ligne de changement de date. Elle est graduée en cinq niveaux d'intensité, correspondant à des intervalles de vitesses de vents normalisés. Pour classer un cyclone sur cette échelle, la vitesse des vents soutenus est enregistrée pendant une minute à une hauteur de 10 mètres, la moyenne ainsi obtenue est comparée aux intervalles normalisés.

Pierre Sabatier et Laurent Dezileau estiment (in Archives Sédimentaires dans les lagunes du Golfe d'Aigues-Mortes : estimation de l'aléa de tempête depuis 2000 ans, Quaternaire, 2010) que les quatre événements extrêmes de tempêtes de 800, 1742, 1839 et 1893 sont au moins de catégorie 3 sur l'échelle de Saffir-Simpson avec des vents pouvant dépasser les 200 km/h.

On note pour les tempêtes de catégorie 3 sur l'échelle de Saffir-Simpson que **l'onde de tempête est comprise entre 2,70m et 3,70m** (l'onde de tempête est le rehaussement du niveau de la mer sur la côte causé par les vents de la dépression qui pousse l'eau sur la surface de la mer).

Sabatier et Dezileau évaluent la probabilité d'avoir un tel événement extrême par an à 0,06 % (**événement de période de retour 1 500 ans**) sur les 2000 dernières années, ramené à une probabilité de 0,86 % par an pour le seul Petit Âge Glaciaire (événement de période de retour 120 ans).

Il est donc attesté que le littoral méditerranéen a historiquement été exposé à une tempête extrême, de période de retour supérieure à 1000 ans, et ayant généré une élévation du niveau marin à la côte supérieure à 2,70m. En additionnant cette surcote à la marée, on atteint bien un niveau de 2,80 m NGF pour un événement extrême en Méditerranée.

Apports de l'analyse géomorphologique

L'ouvrage « Cartographie des zones inondables. Approche hydro-géomorphologique. 1996 - Éditions Villes et Territoires - METT - MATE » présente les principes de la cartographie hydrogéomorphologique. Cette méthode est une première phase d'analyse des milieux naturels et anthropisés des vallées. Elle se base sur une approche naturaliste qui permet de mettre en évidence les différents lits des cours d'eau, Elle permet de déduire les zones inondables par les crues rares à exceptionnelles. Cette méthode s'appuie sur la photo-interprétation et sur une étude de terrain qui permettent de mettre en évidence les différentes unités géomorphologiques. On distingue alors celles qui appartiennent à la partie active du cours d'eau (zone inondable) et celles qui sont hors de la zone active et donc hors zone inondable (les terrasses, le substratum...) formant l'encaissant. Ces unités sont séparées par des discontinuités matérialisées par des talus plus ou moins bien marqués qui permettent de les délimiter dans l'espace.

Cette méthode a été déclinée pour la submersion marine par le CETE Méditerranée pour la DREAL LR en 2008 à l'ensemble du littoral du Golfe du Lion. Le CETE a développé une méthode basée sur la géomorphologie du littoral, dans l'objectif d'identifier les formes et formations caractéristiques du milieu littoral. La définition de ces entités a ensuite permis de raccorder un type d'aléa « submersion marine » de manière qualitative à chacune entité.

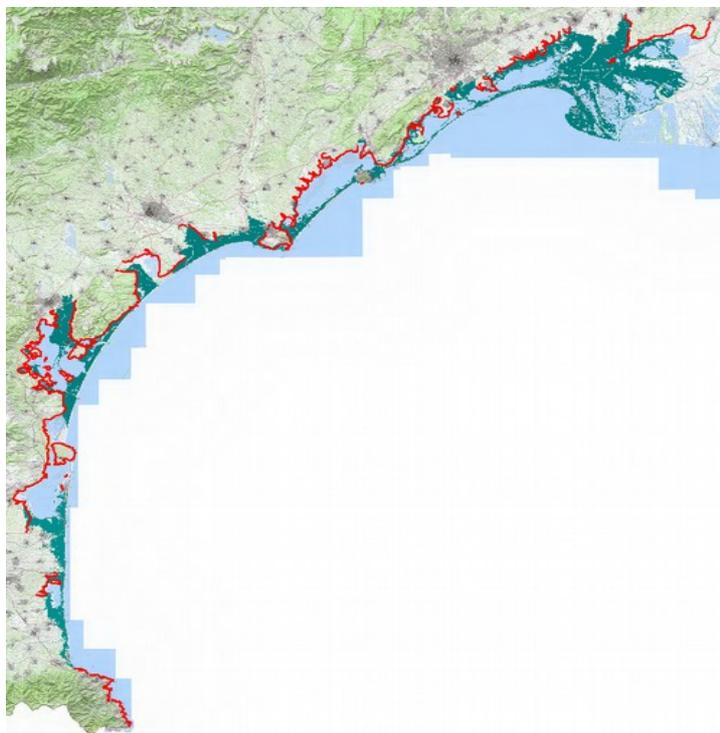
Les zones identifiées sont les suivantes :

- la zone marine : il s'agit des secteurs recouverts en permanence par la mer ;
- la plage vive, constituée de l'estran et du haut de plage. L'estran est la partie du littoral située entre les niveaux des plus hautes et des plus basses eaux, alors que le haut de plage est l'espace en pente douce qui relie l'estran aux premières dunes du cordon littoral ;
- le cordon littoral : c'est la zone d'accumulation sableuse littorale d'aspect linéaire dont les points les plus haut, toujours émergés, sont occupés par des formations dunaires ;
- la plaine littorale peut se présenter sous deux aspects, lagunaire ou marécageux. Elle constitue la zone tampon de comblement sédimentaire située entre les espaces mouvants comme la plage vive ou le cordon littoral, et les milieux continentaux, comme la plaine alluviale ou les reliefs. Elle a notamment pour caractéristique de contenir des eaux salées ;
- La plaine alluviale : il s'agit du lit majeur du cours d'eau (sa zone inondable). C'est une surface à faible dénivelé constituée par des alluvions déposées lors des crues du cours d'eau.
- l'encaissant : il comprend les terrasses alluviales, les dépôts de colluvions et les versants encadrant directement la plaine alluviale. Les versants sont plus ou moins raides et taillés dans le substratum dans lequel la vallée s'imprime. Les colluvions sont des dépôts de pentes constitués d'éléments fins et de petits éboulis situés en pied de versant qui, parfois, viennent recouvrir les terrasses ou le talus du lit majeur. L'encaissant est une zone non-inondable.

A chaque zone est associé une qualification de l'aléa submersion marine :

Élément géomorphologique	Aléa				
	Très fort	Fort	Moyen	Faible	Nul
Plage vive	X				
Dune		X			
Cordon dunaire (1 ^{er} plan)		X			
Cordon dunaire (2 nd plan)			X		
Plaine littorale			X		
Cordon littoral (autres plans)				X	
Plaine alluviale				X	
Encaissant					X

Cette méthode, si elle ne permet pas de déterminer une occurrence ou une intensité (hauteur d'eau atteinte), permet en revanche d'avoir en première approche une "limite haute" historique de l'emprise de la submersion marine en regroupant l'ensemble des entités à l'exception de l'encaissant. La carte ci-dessous figure en bleu les zones littorales d'altimétrie inférieure à 2,80 m NGF et en rouge la limite des encaissants.



Les zones littorales d'altimétrie inférieure à 2,80 m NGF sont intégralement comprises dans les limites des encaissants définies dans l'AZISM. Ces terrains ont donc été soumis à l'échelle géologique à l'influence marine.

Conclusion

L'ensemble de ces éléments, qualitatifs et quantitatifs, permet d'accréditer l'estimation par le calcul, en sommant toutes les composantes du niveau marin, à 2,80 m NGF de l'aléa extrême submersion marine en Méditerranée.

L'estimation est attestée par les éléments d'analyse issus de la paléotempestologie, notamment des travaux de thèse conduit par P. Sabatier dans le Golfe d'Aigues Mortes qui ont permis d'identifier une tempête d'occurrence inférieure à 1000 ans en 1742, ayant provoqué une élévation du niveau marin à la côte de 2,80 m NGF au moins.

Enfin, ce niveau extrême de 2,80 m NGF est conforté par l'approche hydro-géomorphologique adoptée dans le cadre de l'élaboration de l'Atlas des Zones Inondables par Submersion Marine en Languedoc-Roussillon, qui comprend intégralement les terrains d'altimétrie inférieure à 2,80m NGF, et qui ont donc été à l'échelle géologique soumis à l'influence marine.

V. Description de la méthode d'estimation de la population permanente dans la zone potentiellement touchée

Il s'agit d'une évaluation de la population permanente présente dans les différentes surfaces inondables, au sein de chaque commune du TRI. Celle-ci a été établie à partir d'un semi de point discrétisant l'estimation de la population légale INSEE 2010 à l'échelle de chaque parcelle.

L'estimation des populations est présentée dans un tableau figurant dans l'atlas cartographique.

Données sources

Données carroyées de population 2009 (carreaux de 200*200m) (les données de 2010 n'étant plus téléchargeables sur le site de l'INSEE...).

Données du foncier 2010 ("MAJIC 2010"), traitées (géoréférencement, anonymisation, remontée de données utiles à l'échelle de la parcelle, ...) et livrées par le CETE Nord-Picardie.

Population INSEE à la commune 2010.

Étape 1 : Répartition des données de population sur les parcelles, carreau par carreau

Formule utilisée : Population à la parcelle (popfisc) = Population du carreau * Surface d'habitation dans la parcelle (Stoth) / Somme des surfaces d'habitation (Stoth) de toutes les parcelles contenues dans le carreau. Pour identifier "les parcelles contenues dans le carreau", une requête géographique de type intersection est utilisée : "parcelles qui intersectent le carreau" (les "parcelles" sont matérialisées par un point dont les coordonnées sont fournies pour chaque parcelle par le CETE Nord-Picardie dans sa livraison).

Si l'on additionne popfisc sur toute une commune, on ne retombe pas sur la population "officielle" de l'INSEE.

Ceci est dû à la méthode de l'INSEE utilisée pour créer les données carroyées : ces données viennent des déclarations fiscales, et peuvent donc différer des données issues du recensement. (Ex : étudiants rattachés au foyer fiscal de leurs parents, inversion logement principal/habitation secondaire, ...).

On utilise alors un recalage aux deux étapes suivantes.

Étape 2 : Calcul d'un coefficient correcteur communal pour "recaler" la population "fiscale" sur la population issue du recensement INSEE

Coefficient correcteur = Population communale INSEE 2010 / Somme des "populations fiscales" (popfisc) de toutes les parcelles de la commune.

Pour identifier "toutes les parcelles de la commune", une requête attributaire est utilisée : parcelles dont le code INSEE est égal à celui de la commune.

Étape 3 : Application de ce coefficient correcteur communal sur chaque parcelle

Population finale de la parcelle (PopINSEE) = Population "fiscale" de la parcelle (popfisc) * Coefficient correcteur communal.

On utilise bien les densités de population les plus fines possibles (population carroyée 200*200m), et la donnée la plus exhaustive possible pour connaître la surface de logement : la surface de logement recensée dans les données du foncier (utilisée pour le calcul de la taxe d'habitation).

La méthode prend bien en compte le fait que la population communale n'est pas uniformément répartie sur toute la commune (utilisation des carreaux de 200*200m), le coefficient correcteur communal est juste un ajustement statistique en fin de chaîne.

Étape 4 : Croisement de la population avec les données hydrauliques

Une fois la base de données établie pour l'estimation de la population, une analyse spatiale avec les données hydrauliques est effectuée à partir d'un système d'information géographique. Cette analyse est calculée à partir des enveloppes de synthèse de la cartographie de chaque aléa (débordement de cours d'eau, submersions marines, ruissellement, remontées de nappe) par scénario (fréquent, moyen, moyen plus changement climatique le cas échéant, extrême) et par commune.

Remarque sur la représentation des résultats

Compte-tenu des incertitudes propres à la méthode utilisée, il a été choisi de définir une valeur « seuil » de 20 habitants dans l'affichage du dénombrement de la population communale par surface inondable. Dès lors, au-dessous de ce seuil, l'estimation de la population, non nulle, est remplacée par l'information « inférieur à 20 ».

VI. Description de la méthode d'estimation des emplois

Il s'agit d'une évaluation du nombre d'emplois présents dans les différentes surfaces inondables, au sein de chaque commune du TRI. L'évaluation se présente sous forme de fourchette (minimum-maximum). Elle a été définie en partie sur la base de donnée SIRENE de l'INSEE présentant les caractéristiques économiques des entreprises du TRI.

L'estimation de la fourchette d'emploi est présentée dans un tableau figurant dans l'atlas cartographique.

Données sources

La base de données SIRENE est gérée par l'Insee. Cette base de référence unique et exhaustive sur les entreprises et leurs établissements, mise à jour quotidiennement, contient l'état civil et les informations économiques de 9 millions d'établissements et 5 millions d'entreprises. Les personnes morales et entrepreneurs individuels y sont enregistrés, quel que soit leur secteur d'activité.

La DGPR s'est portée acquéreur de cette base.

Étape 1 : Géolocalisation des données emploi

Les données emplois issues de la base de données SIRENE ont été géolocalisées sur les 894 communes identifiées dans l'ensemble des TRI par l'arrêté du 12 décembre 2012 du préfet coordonnateur de bassin.

Après un premier travail de géolocalisation en interne à la DREAL de bassin, la DGPR a fait appel à prestataire afin de réaliser ce géocodage (données du mois de novembre 2013) et offrir une donnée de meilleure qualité.

Le travail d'ajustement s'est appuyée notamment sur :

- la qualification d'indicateurs pertinence de géolocalisation par établissement (adresse précise, rue, commune, autre) en vue de retravailler sur les installations mal géolocalisées ;
- un correctif sur les petites entreprises dont la base donnée SIRENE exclu les gérant dans la comptabilisation des emplois ;

Néanmoins, des erreurs ainsi que des biais subsistent. Certaines sont liées au fichier SIRENE, en effet certaines informations ne sont pas renseignées (effectif salarié par exemple). Ces enregistrements prennent la valeur de 1 pour les emplois maximum et minimum par défaut, sous-estimant les effectifs. Également, il est possible que certains effectifs soient répartis sur une seule adresse, alors qu'ils se partagent sur plusieurs lieux (cas de certaines administrations publiques). Ces effectifs ont été exclus. Un autre point concerne la qualité du géocodage qui est sujette aux erreurs. L'absence de géolocalisation et le manque de précision ont, dans certains cas, été corrigé en répartissant les effectifs mal localisés sur les entreprises bien localisées. Des erreurs subsistent du fait des manques et des imprécisions des données initiales. Toutefois, ces nouvelles bases de données « emplois » offrent une meilleure estimation

comparativement à la précédente.

Étape 2 : Croisement de la population avec les données hydrauliques

Une fois la base de données établie pour l'estimation des emplois, une analyse spatiale avec les données hydrauliques est effectuée à partir d'un système d'information géographique. Cette analyse est calculée à partir des enveloppes de synthèse de la cartographie de chaque aléa (débordement de cours d'eau, submersions marines, ruissellement, remontées de nappe) par scénario (fréquent, moyen, moyen plus changement climatique le cas échéant, extrême) et par commune.

Remarque sur la représentation des résultats

Compte-tenu des incertitudes propres à la méthode utilisée, il a été choisi de définir une valeur « seuil » de 5 emplois dans l'affichage du dénombrement des emplois à la commune par surface inondable. Dès lors, au-dessous de ce seuil, l'estimation des emplois, même nuls, est remplacée par l'information « inférieur à 5 ».

VII. Description de la méthode d'estimation de la population saisonnière

Le Contexte

Dans le cadre des travaux méthodologiques pour la mise en œuvre de la phase « cartographie » de la directive inondation, il a été mis en évidence le besoin de disposer de données non seulement sur les populations permanentes, mais également sur les populations saisonnières, au travers de la variation de population pour une commune donnée.

L'évaluation de cette variation a été jugée indispensable pour les communes littorales. Il serait en effet difficilement compréhensible pour des territoires touristiques d'évaluer et de cartographier les risques sans tenir compte des populations présentes dans la pleine saison.

Deux types d'indicateurs ont ainsi été définis pour qualifier l'éventuelle affluence touristique des communes appartenant à un TRI : le surplus de population saisonnière théorique et le taux de variation saisonnière théorique.

Un territoire est susceptible d'accueillir la population permanente, la population touristique saisonnière qui séjourne sur ce territoire, des travailleurs saisonniers, et des visiteurs à la journée.

Si l'on ne dispose généralement pas de chiffres sur les travailleurs saisonniers et sur les visiteurs à la journée, des données existent en revanche sur les populations touristiques. En théorie, il conviendrait de confronter la saisonnalité de l'aléa (lorsqu'elle existe et c'est souvent le cas pour les inondations) aux variations saisonnières réellement constatées. En pratique, seules des études très ponctuelles s'intéressent aux variations réellement constatées de population et il reste difficile de « saisonnaliser » l'aléa.

Pour ces raisons, il est ici choisi de s'intéresser à la capacité d'accueil des communes, plutôt qu'aux fréquentations. La notion a le mérite d'exister dans les méthodes du ministère du tourisme, et permet de s'exonérer d'une baisse conjoncturelle de la fréquentation pour revenir vers des notions de bâtis, propres aux territoires étudiés.

Définition de la capacité d'accueil touristique

La capacité d'accueil touristique d'un territoire est un indicateur qui peut être suivi tant au niveau quantitatif que qualitatif. Du point de vue quantitatif, cette capacité se définit toujours par un nombre de "lits" et représente le potentiel du territoire à accueillir dans le cadre d'une "nuitée" un certain nombre de touristes.

L'accueil des touristes peut être réalisé au travers de plusieurs types d'hébergements : les hébergements collectifs (villages de vacances, maison familiale de vacances, résidences de tourisme, auberge de

jeunesse, centres internationaux de séjour, centres sportifs), l'hôtellerie, l'hôtellerie de plein air (campings), les locations saisonnières (meublés classés de tourisme, chambres d'hôtes), les résidences secondaires.

Des définitions sont proposées par le mémento du tourisme 2011.

Les hôtels de tourisme sont des établissements commerciaux d'hébergement classés (ou homologués), qui offrent des chambres ou des appartements meublés en location à une clientèle de passage ou à une clientèle qui effectue un séjour à la journée, à la semaine ou au mois mais qui, sauf exception, n'y élit pas domicile. On distingue les hôtels indépendants et les hôtels de chaînes (classés ou non classés). Les hôtels de chaînes sont des enseignes appartenant à des groupes hôteliers. Ainsi au 1er janvier 2011, l'hôtellerie de tourisme comptait 17 070 hôtels en France métropolitaine, dont 13 934 hôtels indépendants et 3 136 hôtels de chaînes, et 220 hôtels dans les DOM, dont 217 hôtels indépendants et 3 hôtels de chaînes.

Les résidences de tourisme sont des établissements commerciaux d'hébergement classés, faisant l'objet d'une exploitation permanente ou saisonnière. Elles sont constituées d'un ou plusieurs bâtiments d'habitation individuels ou collectifs regroupant, en un ensemble homogène, des locaux d'habitation meublés ou des locaux à usage collectif. Les locaux d'habitation meublés sont proposés à une clientèle touristique qui n'y élit pas domicile, pour une occupation à la journée, à la semaine ou au mois. Elles sont dotées d'un minimum d'équipements et de services communs.

Les campings sont destinés à l'accueil de tentes, de caravanes, de résidences mobiles de loisirs et d'habitations légères de loisirs. Ils sont constitués d'emplacements nus ou équipés de l'une de ces installations ainsi que d'équipements communs. Dans ce chapitre, on comptabilise l'ensemble des emplacements offerts, qu'il s'agisse d'emplacements de passage ou d'emplacements résidentiels.

Un emplacement de passage est un emplacement destiné à une clientèle touristique qui n'y élit pas domicile. Dans les emplacements de passage, on distingue les emplacements nus et les emplacements équipés, d'un hébergement léger de type chalet, bungalow ou mobile home. Un emplacement résidentiel (ou loué à l'année) est un emplacement réservé à la location résidentielle, c'est-à-dire à un seul client pour l'ensemble de la période d'ouverture du camping.

Les villages de vacances sont des établissements touristiques constitués d'hébergements individuels ou collectifs proposant des séjours de vacances et de loisirs sous forme de forfait, comprenant la restauration ou des moyens individuels pour la préparation des repas ainsi que l'usage des équipements collectifs de loisirs sportifs et culturels. La plupart des villages de vacances sont gérés par des associations de tourisme social (établissements affiliés à l'UNAT) ; les autres sont exploités par des sociétés commerciales (par exemple le Club Méditerranée).

Les maisons familiales de vacances sont des établissements sans but lucratif, à caractère social, familial et culturel qui ont pour principale vocation l'accueil des familles pendant leurs vacances et leurs loisirs. Elles sont, en priorité, ouvertes aux familles ayant des revenus modestes.

Les meublés classés de tourisme sont des villas, appartements, ou studios meublés, à l'usage exclusif du locataire, offerts en location à une clientèle de passage qui y effectue un séjour caractérisé par une location à la journée, à la semaine ou au mois, et qui n'y élit pas domicile. Ils doivent être déclarés en mairie, où leur liste est consultable. Les meublés classés de tourisme comprennent les meublés labellisés et les meublés non labellisés.

Les chambres d'hôtes sont des chambres meublées situées chez l'habitant en vue d'accueillir des touristes, à titre onéreux, pour une ou plusieurs nuitées, assorties de prestations.

Les auberges de jeunesse sont des établissements généralement régis par une association à but non lucratif. Elles offrent aux usagers un hébergement et un service de restauration limité et/ou une cuisine individuelle de même que d'autres prestations, programmes et activités.

Les centres internationaux de séjour ont une double vocation : lieu d'hébergement et de restauration, c'est aussi un lieu culturel. Le concept du CIS repose sur la convivialité, la rencontre et les échanges internationaux.

Les centres sportifs sont des centres d'accueil et d'hébergement proposant des installations et des activités sportives. Ce sont des établissements du type UCPA ou les Glénans.

Les résidences secondaires sont des logements utilisés pour les week-ends, les loisirs ou les vacances.

L'estimation de la capacité d'accueil est effectuée à partir des ratios définis par le code du tourisme dans son article R133-33, en vue de qualifier une commune de « touristique ».

Données disponibles

Dans ses « données détaillées localisées », l'INSEE recense la « Capacité des communes en hébergement touristique », et les données sont disponibles de 2003 à 2012. Toutefois, certaines de ces informations ne sont pas disponibles de manière homogène sur l'ensemble du territoire national au niveau communal. C'est le cas pour les hébergements collectifs et les chambres d'hôtes. Au sein des résidences secondaires, il convient de noter que la proportion de logements dévolus à la location saisonnière est une inconnue.

Les variables, issues de la base de donnée de l'INSEE, qui ont pu être exploitées sont listées ci-dessous :

- Nombre total de chambres dans les hôtels classés : HCCH12
- Nombre total de chambres dans les hôtels de chaîne non classés : HNCCH12
- Nombre total d'emplacements offerts à la clientèle de passage dans les campings classés : CPGE012
- Nombre de résidences secondaires en 2009 : P09_RSEC
- Nombre de résidences secondaires et de logements occasionnels : P09_RSECOCC
- Nombre de lits en village de vacances et maisons familiales : VILL_MAIS
- Nombre de lits en auberges de jeunesse et centres internationaux de séjour : AUBJ_CIS
- Nombre de lits en résidences hôtelières et résidences de tourisme : RESID_TOUR
- Nombre de lits en centres sportifs : CEN_SPORT
- Population recensée : P09_POP

La méthode d'estimation de l'affluence saisonnière

La méthode retenue a consisté, sur la base des fichiers INSEE et des ratios du code du tourisme, de procéder aux calculs sur les communes des TRI métropolitains.

Les résidences secondaires (5 personnes) et les locations saisonnières (4 personnes) ne peuvent être distinguées. Par ailleurs les chambres d'hôtes (2 personnes) ne seront pas comptabilisées. Il a été choisi d'affecter le coefficient 5 à la variable P09_RSEC (résidences secondaires).

Enfin, une seule personne est comptabilisée par logement occasionnel, ces logements étant obtenus par les variables P09_RSEC (sans logements occasionnels) et P09_RSECOCC (avec).

La formule retenue est donc :

pour le surplus de population saisonnière théorique :

$HAB_SAISON = 2 \times (HNCCH12 + HCCH12) + 3 \times CPGE012 + 5 \times P09_RSEC + (P09_RSECOCC - P09_RSEC) + Nb$
places dans hébergements collectifs.

Avec Nb places dans hébergements collectifs = VILL_MAIS + AUBJ_CIS + RESID_TOUR + CEN_SPORT.

pour le taux de variation saisonnière théorique :

$TX_HAB_SAI = HAB_SAISON / HAB_PERM$

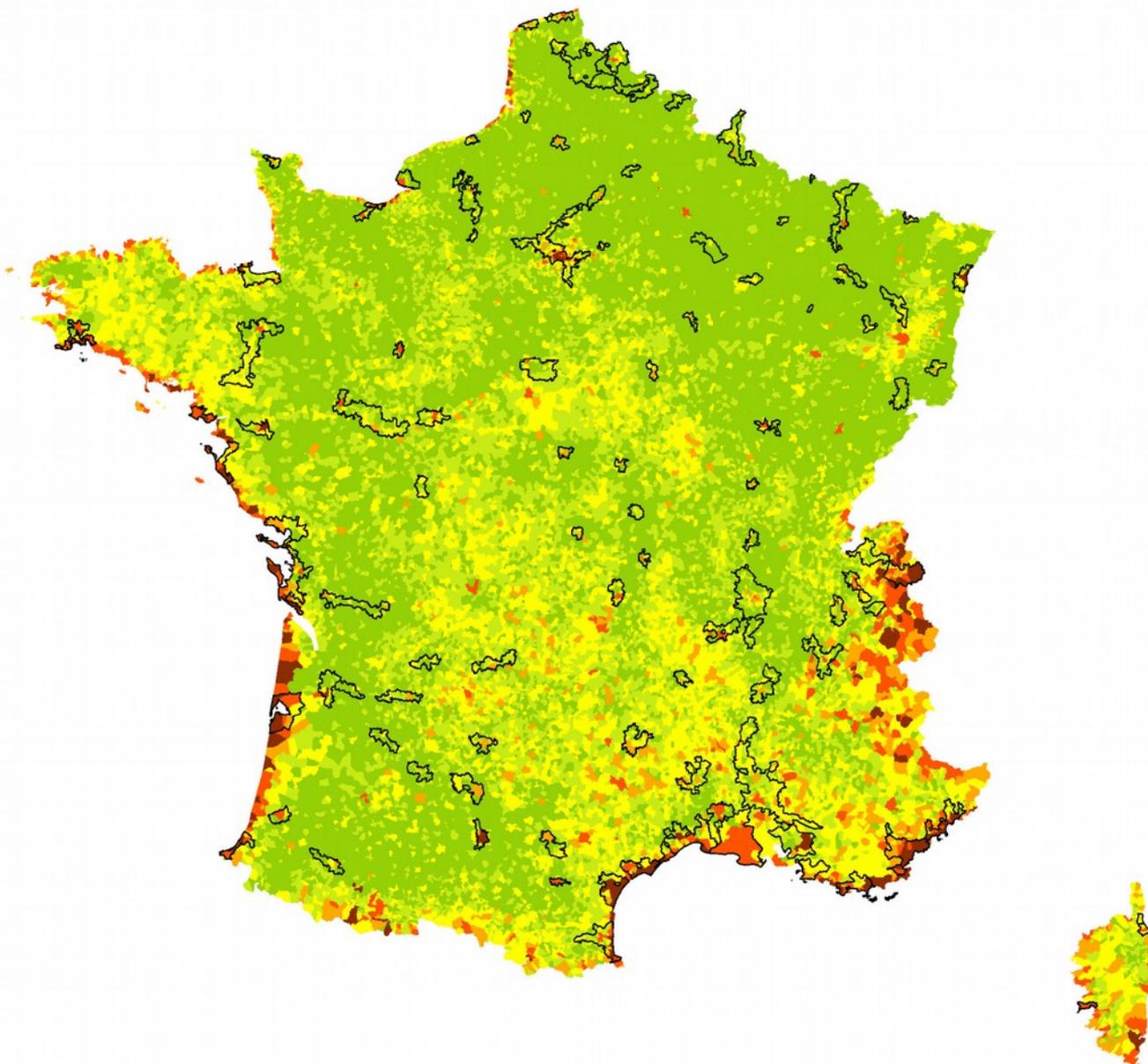
Ces indicateurs restent informatifs au regard de l'exposition potentielle de l'affluence saisonnière aux inondations faute de précision.

L'analyse des variations saisonnières diffère fonction des territoires littoraux ou de montagne. Ce résultat doit être examinée en tenant compte de la concomitance entre la présence potentielle de la population saisonnière et la survenue éventuelle d'une inondation. Ainsi dans les territoires de montagne, les chiffres importants correspondent parfois à une variation hivernale (stations de ski par exemple), généralement en dehors des périodes à risque d'inondation.

Les cartes suivantes montrent les variations saisonnières obtenues, en valeur relative et absolue.

Dénombrement de la population Variation communale saisonnière

Echelle: 1 / 6000000



La variation communale saisonnière est l'augmentation maximale théorique de population liée à l'accueil saisonnier d'une commune. Cette augmentation est calculée sur la base de ratios définis dans l'article R133-33 du code du tourisme.

Sont pris en compte :

- les chambres des hôtels classés et non classés (2 personnes par chambre),
- les emplacements des campings (3 personnes par emplacement),
- les résidences secondaires (5 personnes par logement),
- les lits en hébergements collectifs (1 personne),
- les logements occasionnels (1 personne).

Les meublés loués à des fins touristiques sont compris dans les résidences secondaires. Les chambres d'hôtes ne sont pas comptabilisées.

Données sources :

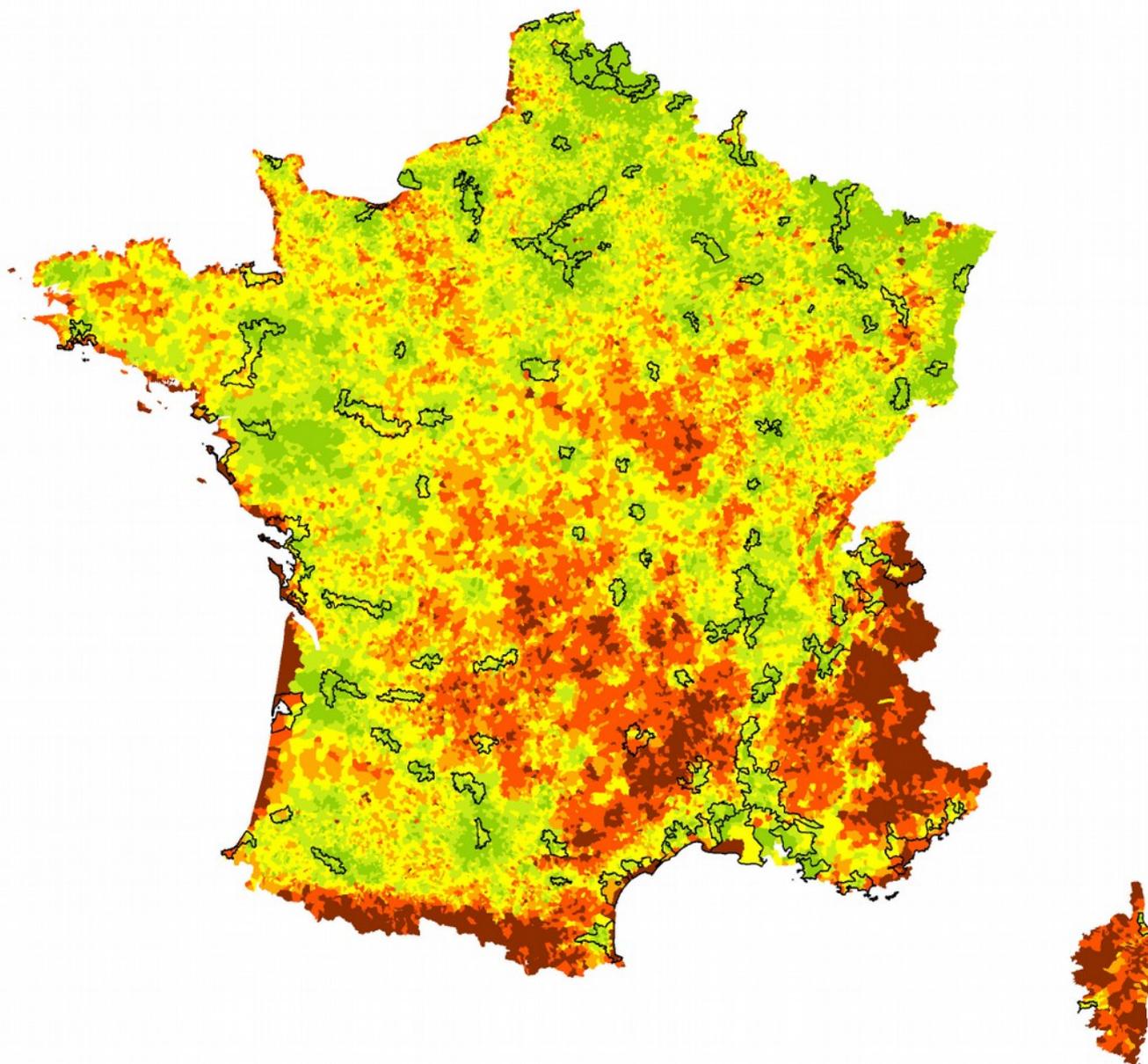
IGN GEOFLA® 2010
INSEE (2012 pour les hôtels, les campings et les hébergements collectifs, 2009 pour les résidences secondaires, les logements occasionnels et le recensement de la population).

Surplus saisonnier de population

- de 0 à 50 hab
- de 50 à 200 hab
- de 200 à 500 hab
- de 500 à 2000 hab
- de 2000 à 10000 hab
- plus de 10000 hab

Dénombrement de la population Taux de variation communale saisonnière

Echelle: 1 / 6000000



Le taux de variation communale saisonnière est le rapport de l'augmentation maximale théorique de population liée à l'accueil saisonnier d'une commune à sa population permanente. Cette augmentation est calculée sur la base de ratios définis dans l'article R133-33 du code du tourisme.

Sont pris en compte :

- les chambres des hôtels classés et non classés (2 personnes par chambre),
- les emplacements des campings (3 personnes par emplacement),
- les résidences secondaires (5 personnes par logement),
- les lits en hébergements collectifs (1 personne),
- les logements occasionnels (1 personne).

Les meublés loués à des fins touristiques sont compris dans les résidences secondaires. Les chambres d'hôtes ne sont pas comptabilisées.

Données sources :

IGN GEOFLA® 2010
INSEE (2012 pour les hôtels, les campings et les hébergements collectifs, 2009 pour les résidences secondaires, les logements occasionnels et le recensement de la population).

Taux de variation saisonnière

- de 0 à 5%
- de 5 à 15 %
- de 15 à 50 %
- de 50 à 100 %
- de 100 à 300 %
- plus de 300 %

VIII. Métadonnées du SIG structurées selon le standard COVADIS Directive inondation

Les bases données ayant servi à produire les cartes soumises à consultation seront téléchargeables à partir de début 2014 pour les TRI dont la cartographie sera arrêtée fin 2013.

La structuration de ces bases de données sera structurée en respectant le modèle de données établi par l'IGN et validé par la Commission de Validation des Données pour l'Information Spatialisée (COVADIS)¹. La structuration de ces informations est détaillée sur <http://www.certu.fr/geostandard-directive-inondation-a326.html>.

Cette partie relative aux métadonnées SIG propres à chaque TRI sera donc complétée ultérieurement à la phase de consultation sur la cartographie.



**Direction régionale de l'Environnement
de l'Aménagement et du Logement
RHÔNE-ALPES
délégation de bassin Rhône-Méditerranée**

69453 LYON CEDEX 06

**Tél : 33 (01) 04 26 28 60 00
Fax : 33 (01) 04 26 28 67 19**

