

ALDES : caractérisation des enjeux, évaluation de la vulnérabilité

Rapport d'avancement

BRGM/RP 58988-FR
Décembre 2010

BRGM/RP 58988-FR
 Décembre 2010

ALDES : caractérisation des enjeux, évaluation de la vulnérabilité

Rapport d'avancement

BRGM/RP - 58988-FR

Décembre 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2010

D. Monfort, M. Terrier et A. Stepanian

Vérificateur :

Nom : R. Pedreros

Date : 15/03/2011

Signature :

Approbateur :

Nom : H. Modaressi

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : tsunami, vulnérabilité, enjeux, risque, méthode, Méditerranée

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Monfort D, Terrier M. et A. Stepanian (2010). ALDES : caractérisation des enjeux, évaluation de la vulnérabilité. Rapport d'avancement. RP- 58988, 73p, 41fig

Synthèse

En complément à la mise en place du Centre Régional d'Alerte aux Tsunamis pour l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée Occidentale (CRATANEM), chargé de diffuser une alerte à la Sécurité Civile, la Direction de la Sécurité Civile (DSC) a sollicité le BRGM pour participer au projet ALDES, lequel concerne la partie descendante du système (gestion de l'alerte à terre).

Les objectifs principaux du projet ALDES concernant :

- 1) à l'échelle régionale, l'évaluation de l'aléa et du risque de tsunamis au niveau de la côte française méditerranéenne
- 2) à l'échelle locale, pour trois sites pilotes : la modélisation d'évènements tsunamigènes déclenchement/propagation/inondation du phénomène, l'évaluation des enjeux et de leur vulnérabilité, et l'évaluation de dommages,
- 3) in fine, la mise en place d'un démonstrateur de système d'alerte descendante sur un des trois sites.

Les trois sites pilotes ont été choisis par le comité de pilotage de l'étude ALDES. Il s'agit des zones côtières situées entre :

Bandol, Sanary-sur-Mer et Six-fours-les-plages,
Leucate et Barcarès,
Antibes-Juan-les-pins et Villeneuve-Loubet.

Ce rapport concerne le module WP 2.2 du projet ALDES, à savoir : Analyse des enjeux et de leur vulnérabilité au niveau des 3 sites pilotes.

Le choix des enjeux dépend bien évidemment de la méthode d'évaluation retenue. Sur la base de la méthodologie présentée, ce rapport présente la collecte et la structuration des enjeux relatifs à chacun des trois sites :

- caractérisation des secteurs côtiers (socio-économique, morphologique, usage),
- répartition de la population (période touristique, hors saison),
- localisation, capacité d'accueil des ports de pêche et de plaisance,
- localisation, capacité d'accueil des parkings en sous-sol,
- localisation, capacité d'accueil des campings,
- typologie, localisation et dénombrement du bâti.

En préalable à la description des enjeux collectés, la méthode d'évaluation du risque aux tsunamis développée dans le cadre du projet de recherche RATCOM et retenue pour le projet ALDES est présentée. Les courbes de vulnérabilité relative aux enjeux matériaux (bateaux, bâtiments) sont évaluées suivant un principe aujourd'hui relativement classique dans les démarches d'évaluation de la vulnérabilité aux

tsunamis. Par contre, l'originalité de la méthode RATCOM consiste à différencier la vulnérabilité humaine en fonction de la situation des personnes au moment du tsunami :

- pour la population à l'extérieur de bâtiments, une courbe unique de vulnérabilité est indiquée. Les deux paramètres retenus sont la vitesse et la hauteur d'inondation.
- dans le cas des personnes à l'intérieur de bâtiments : une typologie de bâtiments est établie. Pour chaque type correspond une courbe de vulnérabilité.

Ces informations seront utilisées lors de la phase WP 4 du projet ALDES dans le cadre de la simulation des dommages et préjudices humains pour des événements de tsunamis donnés.

Sommaire

1. Introduction.....	9
2. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité des enjeux et du risque tsunamis....	11
2.1. INTRODUCTION	11
2.2. CHOIX DES ENJEUX	11
2.3. VULNERABILITE DE LA POPULATION	12
2.3.1. Personnes à l'extérieur des bâtiments	13
2.3.2. Personnes à l'intérieur des bâtiments	14
2.3.3. Stabilité structurelle des bâtiments.....	21
2.3.4. Vulnérabilité des zones portuaires	23
2.3.5. Routes et réseau ferroviaire	24
3. Caractérisation des sites pilotes et identification des enjeux.....	25
3.1. SITE BANDOL – SANARY-SUR-MER – SIX-FOURS-LES-PLAGES	26
3.1.1. Types de côte	26
3.1.2. Population	28
3.1.3. Bâtiments	37
3.1.4. Ports	41
3.1.5. Parkings	42
3.2. SITE LEUCATE – BARCARES.....	44
3.2.1. Types de côte	45
3.2.2. Population	45
3.2.3. Bâtiments	49
3.2.4. Campings	52
3.2.5. Ports	52
3.2.6. Parkings	52
3.3. SITE VILLENEUVE-LOUBET – ANTIBES – JUAN-LES-PINS	55
3.3.1. Types de côte	55
3.3.2. Population	57
3.3.3. Bâtiments	60
3.3.4. Ports	62
3.3.5. Parkings	62

3.4. ENSEMBLE DU LITTORAL	63
4. Conclusion	67
5. Bibliographie	69

Liste des illustrations

Figure 1 : Localisation des 3 sites pilotes du projet ALDES, sur fond de découpage départemental.....	10
Figure 2 : Hauteur d'eau, vitesse de flux et mobilité des personnes (plaquette de MEDAD/SDPRM 2000 guide méthodologique des PPRI, extrait de GSC 2009).....	13
Figure 3 : Comparaison des différentes valeurs d'hauteur d'eau et vitesse trouvées dans la littérature délimitant des secteurs de mobilité des personnes en cas d'inondation.	14
Figure 4 - Calcul des courbes de vulnérabilité humaine en fonction de la situation des personnes au moment du tsunami.....	15
Figure 5 : Exemple d'un bâtiment (Antibes) et matrice de sauvegarde pour le type 1	17
Figure 6 : Exemple d'un bâtiment (Cagnes sur Mer, extrait de Google Street View) et matrice de sauvegarde pour le type 2	18
Figure 7 : Exemple d'un bâtiment (Saint Laurent du Var, extrait de Google Street View) et matrice de sauvegarde pour le type 3	19
Figure 8 : Exemple d'un bâtiment (Villeneuve-Loubet, extrait de Google Street View) et matrice de sauvegarde pour le type 4	20
Figure 9 : fonctions d'endommagement proposées par Guillaude et al. (2009). Les typologies constructives des bâtiments sont : A) constructions légères, B) maçonnerie non renforcée, C) maçonnerie de remplissage avec des éléments renforcés, D) béton non renforcé, E) béton armé.	21
Figure 10 : types de côte rencontrés sur les communes de Bandol, Sanary-sur-Mer et Six-fours-les-plages.	27
Figure 11 : Secteurs extérieurs délimités à Bandol.	32
Figure 12 : Secteurs extérieurs de Sanary-sur-mer.	33
Figure 13 : Secteurs extérieurs de Six-fours-les-plages.....	34
Figure 14 : Plage de Rènecros à Bandol un jour d'été. Il s'observe une forte fréquentation de cette plage, avec des densités de population en concordance avec les valeurs de l'AFIT. Image extraite de Google Earth ©.	35
Figure 15 : Image de la plage de Roches Brunes à Six-fours-les-plages un jour d'été. Il s'observe une fréquentation de la plage moindre que dans la Figure 14. Image extraite de Google Earth ©.	35
Figure 16 : Exemple de bâtiment d'habitat collectif, de type 1, en centre ville, avec des commerces au RDC, au port de Bandol (extrait de Google Street View ©).	37
Figure 17 : Exemple de bâtiment d'habitat collectif, de type 2, excentré par rapport au centre ville, à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).	38
Figure 18 : Exemple de maison individuelle de deux niveaux, de type 2, à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).	38
Figure 19 : Exemple de bâtiment d'un seul niveau, de type 3, avec des grandes ouvertures en front de mer à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).	39

Figure 20 : Exemple de maison individuelle d'un seul niveau (type 4) à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).	39
Figure 21 : Carte de la répartition de différents types des bâtiments (de hauteur inférieure à 5 m) du centre ville de Sanary-sur-mer.	40
Figure 22 : localisation des ports du site de Bandol, Six-fours-les-plages et Sanary-sur-Mer.	41
Figure 23 : Localisation des parkings situés à faible côte topographique à Bandol, Sanary-sur-mer et Six-Fours-les-plages.	43
Figure 24 : carte avec les types de côte du site Leucate-Barcarès.	46
Figure 25: Barcarès, maisons en première ligne de mer. Type de cote 8.	47
Figure 26 : Exemple de la délimitation des trois types de plage à Leucate-plage.	48
Figure 27 : Exemple de maison individuelle avec un étage et un restaurant en terrasse (type 1), à Leucate-plage.	50
Figure 28 : Exemple de bâtiments d'habitat collectif du type 2 à Leucate (image de Google Street View ©).	50
Figure 29 : Exemple de bâtiments d'habitat collectif (type 1) avec des commerces au RDC à Port-Barcarès (image de Google Street View ©).	51
Figure 30 : Exemple de maison individuelle de deux niveaux en front de mer (type 2) à Leucate (image de Google Street View ©).	51
Figure 31 : Exemple de bâtiments d'un seul niveau de type 4 à Leucate.	52
Figure 32 : Localisation des campings dans les communes de Leucate et Barcarès issue de la BD topo.	53
Figure 33 : Camping avec des mobiles-homes à Leucate, exemple de constructions légères (image de Google Street View ©).	54
Figure 34 : Carte avec les types de côte du site Antibes – Villeneuve-Loubet.	56
Figure 35 : La plage des Ponchettes vue depuis la tour Bellanda (Cliché : S. Robert , le 22 septembre 2007).	58
Figure 36 : Evolution le long d'une journée du nombre des personnes sur la plage des Ponchettes à Nice pour trois jours différents (extrait de Robert et al. 2008).	58
Figure 37: Exemple de bâtiment d'habitat collectif avec des nombreux commerces au RDC à Juan les Pins (type 1). Extrait de Google Street View ©.	60
Figure 38: Exemple de maison individuelle d'un seul niveau (type 4) au nord d'Antibes. Extrait de Google Street View ©.	61
Figure 39 : Exemple de terrasse (type 3) en bord de mer à Juan les Pins. Extrait de Google Street View ©.	61
Figure 40 : Carte des ratios de pression touristique sur le littoral pendant l'été (Ici le ratio prend en compte la population totale (résidents et vacanciers)).	64
Figure 41 : Carte des ratios de pression touristique sur le littoral pendant l'hiver. (Dans cette carte le ratio prend en compte que les résidents (population hivernale)).	65

1. Introduction

En complément à la mise en place du Centre Régional d'Alerte aux Tsunamis pour l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée Occidentale (CRATANEM), chargé de diffuser une alerte à la Sécurité Civile, la Direction de la Sécurité Civile (DSC) a sollicité le BRGM pour une participation à un nouveau projet dénommé Alerte Descendante (ALDES). Ce projet consiste :

- a) en une étude de la menace tsunami le long du littoral méditerranéen afin d'identifier les zones les plus exposées,
- b) puis, à examiner en détail trois sites pilotes et y évaluer le risque (l'aléa, les dommages et préjudices humains potentiels) ;
- c) et enfin, la mise en place d'un démonstrateur (sur un des 3 sites pilotes pré-analysés) pour lequel les éléments d'un système d'alerte descendante adapté seront définis (plan communal de sauvegarde, formation, information, documentation, diffusion...).

Les trois sites pilotes retenus dans le cadre du projet ALDES sont :

- Bandol – Six-fours-les-plages – Sanary-sur-Mer dans la côte varoise (83)
- Leucate – Barcarès entre l'Aude (11) et les Pyrénées-Orientales (66)
- Antibes-Juan-les-Pins et Villeneuve-Loubet dans les Alpes Maritimes (06)

Dans ce rapport, on expose :

- la méthode d'évaluation de la vulnérabilité des enjeux et d'estimation de dommages retenue pour le projet ALDES,
- l'identification et caractérisation des enjeux exposés à l'aléa tsunami pour les trois sites pilotes du projet.

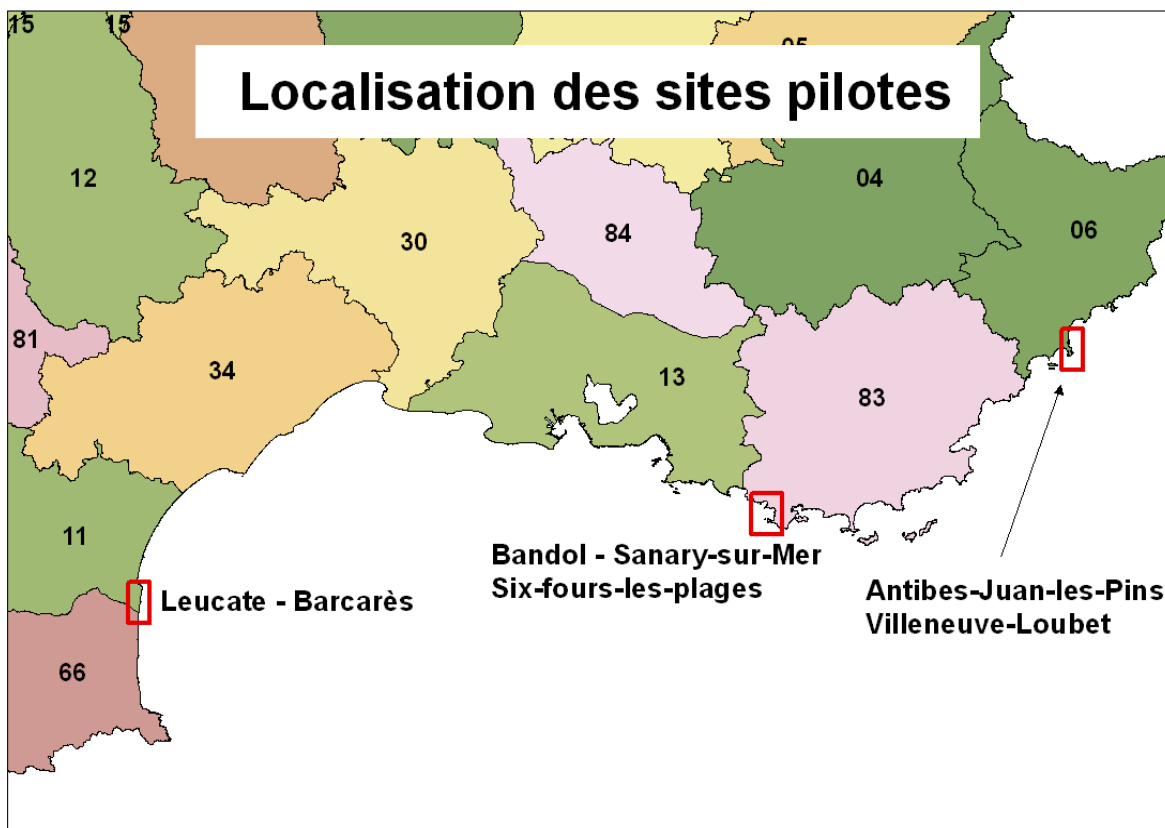


Figure 1 : Localisation des 3 sites pilotes du projet ALDES, sur fond de découpage départemental.

2. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité des enjeux et du risque tsunamis

2.1. INTRODUCTION

Développée dans le cadre du projet RATCOM (Monfort & al, 2010), la méthode d'évaluation de la vulnérabilité des enjeux et d'estimation de dommages et préjudices humains en cas de survenance de tsunami a tenu compte du fait que :

- L'aléa attendu dans la Méditerranée occidentale est faible à modéré, avec des surélévations du niveau d'eau qui ne dépassent pas les 3 mètres.
- Les enjeux les plus exposés aux tsunamis en Méditerranée Occidentale sont les zones portuaires (les plus impactées par les tsunamis historiques) et la population (phénomène touristique récent, après-guerre). Vu le contexte, selon le type du bâti, celui-ci peut avoir fonction de « refuge ».

La méthode vise à estimer de façon quantitative les dommages aux personnes et aux biens pour différents niveaux d'agression (scénario de tsunami).

2.2. CHOIX DES ENJEUX

Dans le cadre de RATCOM, une analyse en retour des dommages causés par les tsunamis avait permis d'identifier :

- dans un premier temps, les éléments exposés aux phénomènes tsunamis.
- Puis, des principaux enjeux à retenir pour l'évaluation du risque, et ce en tenant compte du contexte socio-économique (densité humaine très élevée pendant les périodes touristiques) et des caractéristiques du phénomène tsunamis en Méditerranée occidentale (intensité plus faible que pour d'autres bassins tels que celui de l'Indonésie, voire de la Méditerranée orientale).

Concernant les 3 sites pilotes, il a donc été tenu compte de cette typologie des enjeux, ainsi que de certaines infrastructures propres aux sites analysés et susceptibles d'être impactées. Parmi ces enjeux, on distingue :

La population. Bien que l'analyse en retour des tsunamis en Méditerranée occidentale n'indique pas un grand nombre de pertes humaines, la protection de la population est la principale raison d'être du système d'alerte tsunami. Si certes l'histoire semble montrer un niveau de risque relativement faible, quoique non négligeable, cette analyse du risque doit tenir compte d'une explosion démographique le long du littoral, particulièrement prononcée en période estivale. En relation directe avec la sécurité des personnes, certains types de bâtiment

doivent être inventoriés, et leur vulnérabilité analysée. Un bâtiment peut être un refuge pour la population mais aussi un piège sous certaines conditions (dans le cas de cave en particulier).

Les campings et les parkings souterrains. Un regard particulier est porté sur ces deux types d'installations. Le premier est assimilé à un lieu de concentration de personnes situées à l'extérieur de bâtiment, en période estivale de nuit et de jour. Le second, comme des structures constituant un piège.

Les ports de plaisance ou de pêche. Ces secteurs sont les plus touchés en cas de tsunami.

Les axes de communication. Certaines de ces infrastructures se situent en bord de mer et en cas d'incident pourraient être bloquées.

La caractérisation de ces enjeux consiste :

- à réaliser une cartographie (localisation dans un référentiel géographique unique) des différents types d'enjeux identifiés,
- à estimer le nombre de personnes ou des biens exposés et ce en fonction des différentes époques de l'année (hiver, été) et de la journée (nuit, après-midi)

2.3. VULNERABILITE DE LA POPULATION

La vulnérabilité de la population doit tenir compte de la localisation des personnes exposées au moment du tsunami :

- personnes qui se situent à l'extérieur, sur la plage, sur les promenades ou sur les quais, avec le cas particulier des baigneurs.
- personnes qui se situent à l'intérieur des établissements ou bâtiments en bord de mer. La vulnérabilité des personnes à l'intérieur des bâtiments dépend aussi du type de bâtiment considéré.

Concernant les personnes embarquées dans des bateaux au moment du tsunami, ou celles qui se trouvent dans les parkings souterrains, une évaluation spécifique des préjudices humains est réalisée.

La distinction entre personnes situées à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments est utilisée pour l'échelle du quartier et celle de la ville. A l'échelle départementale la vulnérabilité de la population est traitée de manière globale.

2.3.1. Personnes à l'extérieur des bâtiments

La capacité d'un individu à se déplacer dans une zone inondée dépend non seulement de sa taille, mais aussi du fait de savoir nager, de son âge... Comme nous ne disposons pas de données détaillées de ces paramètres, un « profil typologique moyen » des personnes a été retenu.

Outre ces paramètres, pour évaluer la vulnérabilité des **personnes à l'extérieur des bâtiments**, la composante agression est exprimée par le couple de valeurs « hauteur d'eau / vitesse » à un instant déterminé. A partir de ces deux valeurs il est possible d'établir une courbe « de vulnérabilité » fonction de la taille de l'individu (Figure 2). Il existe dans la littérature différentes courbes de vulnérabilité des personnes aux inondations, quelques exemples sont donnés en Figure 3.

La courbe indiquée dans le cadre des PPRI, adulte sportif (Plan de Prévention au Risque Inondation) est celle retenue dans ce projet.

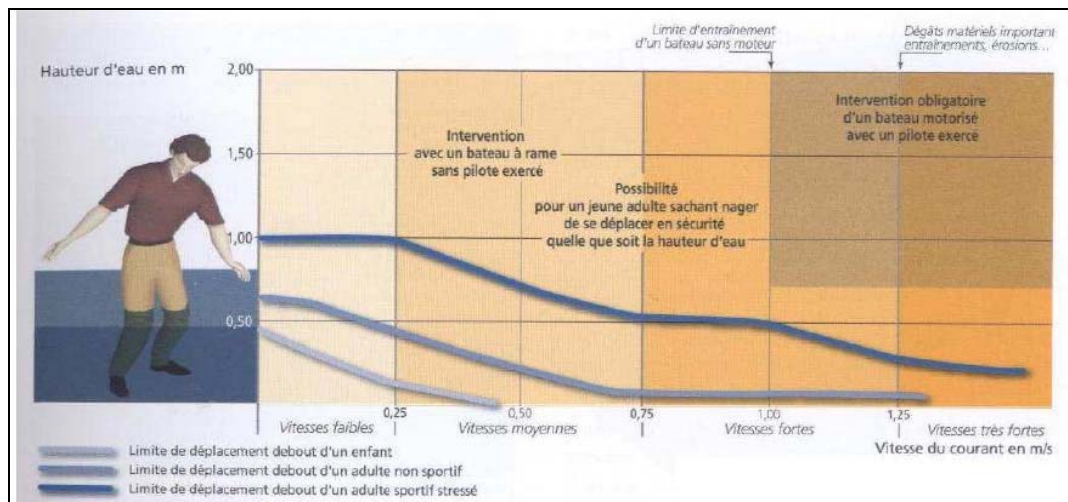


Figure 2 : Hauteur d'eau, vitesse de flux et mobilité des personnes (plaquette de MEDAD/SDPRM 2000 guide méthodologique des PPRI, extrait de GSC 2009).

Grace à cette courbe d'endommagement, il est possible d'identifier, au cours du temps que va durer l'inondation, les zones où les personnes peuvent résister au flux par eux-mêmes ou non. Une carte présentant trois zones pourra être faite à différents instants :

- pas d'inondation,
- zones à déplacement possible,
- zones avec la population emportée par le courant

Cette carte est définie comme la **carte de capacité de sauvegarde**.

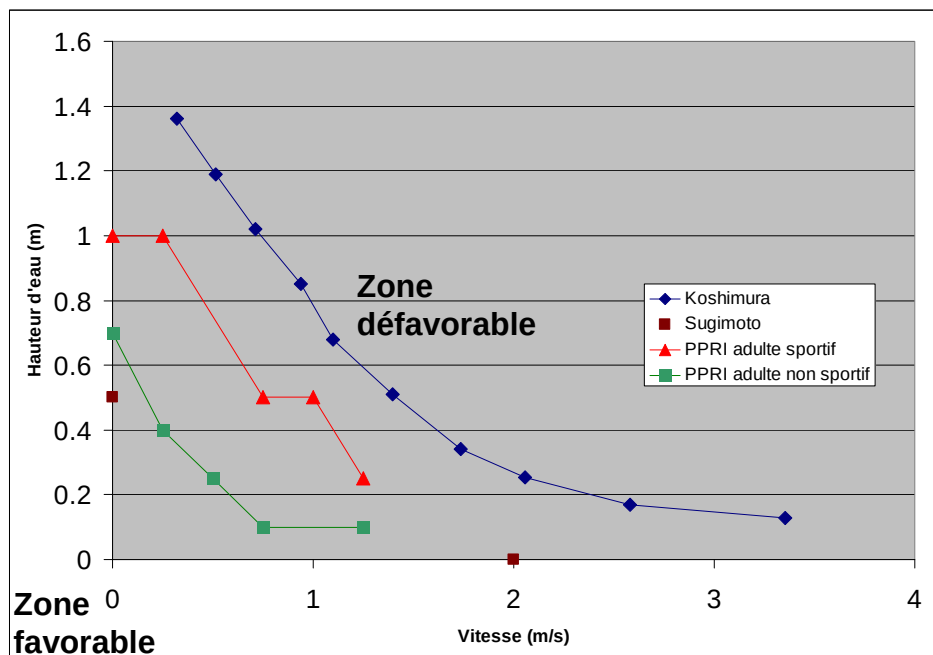


Figure 3 : Comparaison des différentes valeurs d'hauteur d'eau et vitesse trouvées dans la littérature délimitant des secteurs de mobilité des personnes en cas d'inondation.

Cette capacité de sauvegarde peut être appréhendée de différents points de vue. D'une part, le nombre de personnes emportées par le flot permet de quantifier les préjudices humains. D'autre part, dans le cadre d'une réflexion sur les chemins d'évacuation possibles (plans de secours) tenant compte des personnes situées dans la zone de flux/reflux mais non emportées.

L'inondation peut provoquer la mobilisation d'objets lourds et volumineux qui interfère avec la mobilité des personnes emportées (cas par exemple des voitures). L'analyse du risque de la population située en plein air devra prendre en compte la présence en nombre de ce type d'objets (comme c'est le cas par exemple des parkings en bord de mer).

Parmi les personnes emportées par la vague, il est possible de calculer un taux de mortalité sur la base des relations proposées par Nishikiori et al. (2007) ou bien de Proenza (2006). A noter néanmoins que l'incertitude de ces calculs est élevée.

2.3.2. Personnes à l'intérieur des bâtiments

La méthode qui suit propose de considérer principalement les bâtiments comme un refuge possible pour les personnes qui sont à l'intérieur et aux alentours, en prenant en compte les facteurs qui peuvent favoriser ou non la sauvegarde de la population (Figure 4). La méthode est structurée en quatre étapes.

1) La typologie des bâtiments que nous avons définie dans le cadre de RATCOM s'inspire de la méthode PVTAM (Papathoma, 2003 et 2007) et des résultats de CRATER (2006).

Les critères typologiques sont les suivants :

- Le nombre d'étages : en distinguant les bâtiments à un niveau (RDC simple) des bâtiments à étages (refuge).
- La protection du bâtiment : Au-delà des infrastructures de protection du littoral (digues, enrochement...) ce critère prend en compte l'existence d'un mur de protection autour du bâtiment, et également le fait que le bâtiment est situé en deuxième ligne, donc partiellement protégé par ceux situés face à la mer.
- La présence d'objets dans le RDC et les environs du bâtiment. Des objets divers (tables, chaises...) peuvent réduire la mobilité des gens, les blesser et bloquer les issues qui permettraient de monter dans les étages.
- Les caractéristiques du RDC, transparent ou avec des murs.

Les effets induits par l'impact d'une vague contre une baie vitrée ou contre un mur en maçonnerie légère vis-à-vis de la population à l'intérieur peuvent être contradictoire. D'une part, la présence d'un RDC transparent diminue la vulnérabilité structurale du bâtiment (contrairement au séisme), mais d'autre part, elle expose les individus présents au RDC à l'impact direct de la vague, et provoque la pénétration quasi immédiate de l'inondation dans la maison. C'est cet effet négatif que nous avons retenu.

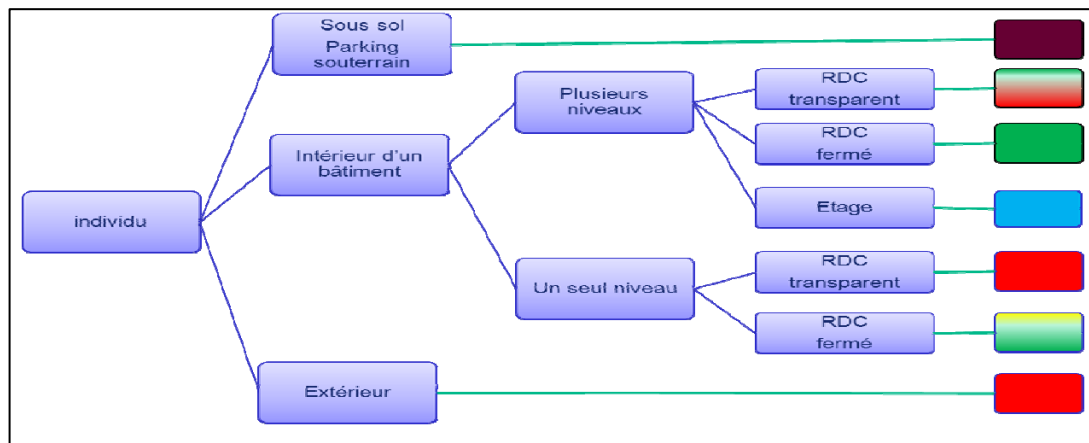


Figure 4 - Calcul des courbes de vulnérabilité humaine en fonction de la situation des personnes au moment du tsunami

Quatre types de bâtiments sont identifiés (Figure 4) :

- Type 1. Bâtiment à plusieurs niveaux avec un RDC transparent (présence de magasins, baies vitrées) qui favorisent l'entrée de l'eau au RDC.
- Type 2. Bâtiment à plusieurs niveaux avec un RDC protégé, avec des murs.

- Type 3. Bâtiment à un seul niveau (RDC) transparent.
- Type 4. Bâtiment à un seul niveau (RDC) avec des murs qui le protègent de l'impact de la vague. La présence de murs protecteurs dans l'environnement immédiat de la construction peut être aussi prise en compte pour ce type.

2) Le risque de la population est classé en trois **niveaux de sauvegarde** :

- **Niveau 0, bâtiment non inondé.**
- **Niveau 1, bâtiment inondé, population au RDC non emportée (Hauteur/vitesse =>alea faible).** Les personnes qui se situent au RDC sont impactées par la vague mais peuvent se déplacer. Dans le cas d'un bâtiment à plusieurs étages, ces personnes pourront migrer vers l'abri des niveaux supérieurs.
- **Niveau 2, bâtiment inondé, la population du RDC est emportée/piégée (alea moyen à fort).** Les personnes qui se situent au RDC sont emportées par les vagues ou noyées. En cas d'un bâtiment à plusieurs étages, la population qui est dans les niveaux supérieurs restera à l'abri. Certaines parties du bâtiment peuvent être endommagées.

Pour les bâtiments en RDC simple protégés, on distingue :

- **un niveau intermédiaire 1.5, bâtiment inondé, à un RDC simple, population au RDC protégé par le confinement (alea moyen à fort).** Les personnes seront piégées, c'est-à-dire qu'elles pourront se déplacer mais qu'elles n'ont nulle part où se réfugier.

Les sous-sols font l'objet d'un type spécifique. Le risque y sera de niveau 2 dès que la vague les atteint.

3) Pour chaque type de bâti, une **matrice de sauvegarde** est définie. Elle dépend de la vitesse et de la hauteur d'eau maximale. Les valeurs limites des hauteurs d'eau et vitesses sont inspirées de la plaquette de prévention du risque d'inondation (MEDAD, 2000) et des valeurs de Kelman (2002).

4) Dernier pas : est-ce que le bâtiment est structurellement endommagé par les vagues ? (approche par courbes de vulnérabilité)

Afin de tenir compte des événements de plus forte intensité, cette analyse est complétée par une évaluation de la stabilité structurelle du bâti. Dans ce cas, les courbes de vulnérabilité s'inspirent de celles calculées à partir des travaux réalisés après le tsunami d'Indonésie en 2004, cf § suivant.



Hauteur d'eau maximale (en m)	>1,5	2	2	2	2	2	2	2	2
	1-1.5	2	2	2	2	2	2	2	2
	0.5-1	1	2	2	2	2	2	2	2
	0-0.5	1	1	1	1	2	2	2	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<0.5	0.5-0.75	0.75-1	1-1.25	1.25-2	2-3	3-5	5 et+
Vitesses maximales (m/s)									

Figure 5 : Exemple d'un bâtiment (Antibes) et matrice de sauvegarde pour **le type 1**.



Figure 6 : Exemple d'un bâtiment (Cagnes sur Mer, extrait de Google Street View) et matrice de sauvegarde pour le type 2.



Figure 7 : Exemple d'un bâtiment (Saint Laurent du Var, extrait de Google Street View) et matrice de sauvegarde pour le type 3.



Hauteur d'eau maximale (en m)	>1,5	2	2	2	2	2	2	2
	1-1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2
	0.5-1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2
	0-0.5	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2
	0	0	0	0	0	0	0	0
		<0.5	0.5-0.75	0.75-1	1-1.25	1.25-2	2-3	3-5
Vitesses maximales (m/s)								
		5 et +						

Figure 8 : Exemple d'un bâtiment (Villeneuve-Loubet, extrait de Google Street View) et matrice de sauvegarde pour le type 4.

2.3.3. Stabilité structurelle des bâtiments

Il s'agit d'évaluer l'endommagement potentiel des bâtiments, dans le but d'estimer à partir de quelles hauteur et vitesse d'inondation, un bâtiment (en particulier ceux susceptibles de constituer un abri pour les personnes en cas de tsunami) subirait un endommagement structurel important.

Cette évaluation est réalisée de façon statistique par type de bâti et sur la base d'un échantillon estimé suffisamment représentatif. D'une manière simplifiée, on distingue les bâtiments lourds et les bâtiments présentant une structure légère.

Après le tsunami de l'océan indien en décembre 2004, plusieurs travaux ont été consacrés à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti aux tsunamis. D'une façon générale, il a été observé que les bâtiments construits avec des structures lourdes (béton armé, maçonnerie) ne souffrent des dégâts structurels importants qu'à partir des hauteurs d'eau supérieures à 2 ou 3 m et des vitesses fortes.

Dans le cadre de ce projet, en cas de fortes valeurs d'agressions (hauteur d'eau) calculées au niveau des zones construites, le comportement du bâti pourra être estimé en utilisant les courbes de vulnérabilité conçues à partir des observations du tsunami de l'océan Indien en 2004 (Guillande et al., 2009, Figure 9 ; Garcin et al., 2007 ; Peiris, 2006 ; Koshimura, 2007). Si en plus des hauteurs d'eau, les vitesses du flux sont indiquées, dans ce cas il est possible de se référer aux matrices de vulnérabilité proposées par Kelman (2002).

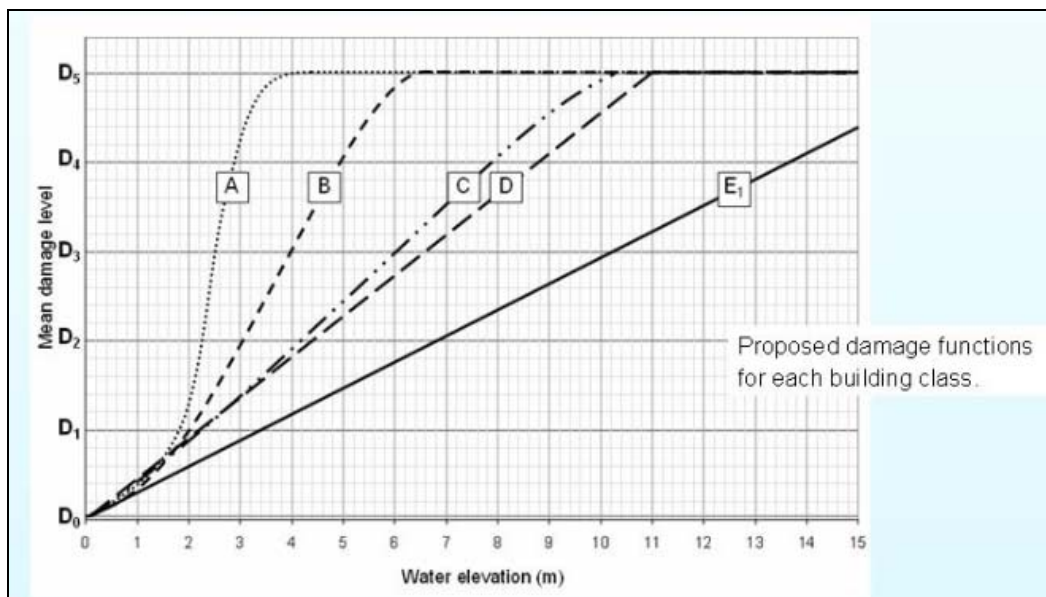


Figure 9 : fonctions d'endommagement proposées par Guillande et al. (2009). Les typologies constructives des bâtiments sont : A) constructions légères, B) maçonnerie non renforcée, C) maçonnerie de remplissage avec des éléments renforcés, D) béton non renforcé, E) béton armé.

Le type des fondations des bâtiments (sommaires ou profondes) est un paramètre important vis-à-vis de l'affouillement provoqué par les vagues. Malheureusement cette donnée est difficilement accessible, même de manière statistique. Mais concernant la zone d'intérêt actuel (nord de la Méditerranée occidentale), compte tenu a priori du faible niveau de dommage attendu pour le milieu bâti en cas de tsunami, ce paramètre n'est pas déterminant pour l'évaluation du risque.

Les zones où des objets volumineux et lourds tels les automobiles ou les bateaux peuvent être mobilisés et emportés par le courant sont susceptibles d'être le siège de dommages aggravés, ces corps flottants pouvant impacter fortement les constructions. Dans le cadre de ce projet, sur la base du référentiel cartographique utilisé, ces secteurs seront signalés, sans y avoir des estimations de sur-pertes occasionnées. En cas d'endommagements importants, les bâtiments ne constituent plus un refuge. Pour l'estimation des victimes parmi les occupants des bâtiments, il est alors possible de se référer aux matrices retenues dans le cadre de scénarii de séismes, qui relient les niveaux d'endommagement du bâtiment avec des ratios de victimes parmi les occupants.

2.3.4. Vulnérabilité des zones portuaires

Lors d'un tsunami modéré, parmi les biens les plus endommagés se sont les bateaux amarrés dans les ports. Dans la mer Méditerranée, où les marées sont très faibles, les bateaux sont amarrés avec peu de mou. En cas de variation soudaine et forte du niveau de la mer, les amarres très rapidement tendus à rompre se brisent, libérant les bateaux. Ceux-ci vont se percuter ou toser sur les aménagements portuaires ou sur le fond. Les variations de niveaux liées aux flux et aux reflux provoquent des forts courants à l'intérieur des ports.

Concernant la méthodologie mise en œuvre, l'agression est exprimée comme une variation du niveau d'eau. Si le modèle n'indique qu'une élévation du niveau marin à l'extérieur du port, celle-ci est alors comparée avec le niveau moyen du port. L'endommagement dans le port est alors estimé globalement.

Le tableau suivant propose en fonction des valeurs d'hauteur d'eau, une estimation moyenne des dommages à l'intérieur des ports. Ces estimations s'appuient sur des analyses en retour de tsunamis, plus particulièrement celui de Boumerdès (2003) qui a donné lieu à de nombreux dommages dans les ports des deux îles des Baléares. Même si les observations historiques des dommages ne décrivent pas spécifiquement la taille des bateaux endommagés, il est constaté de façon générale des dégâts beaucoup plus importants pour les petites embarcations (pêche, loisir) que pour les grands navires.

Variation du niveau d'eau dans le port	Niveaux des dégâts	% des bateaux endommagés
< 0.5 m	Variation acceptable.	
0.5 - 2 m	Quelques bateaux endommagés. Endommagement des parties mobiles des installations.	Entre 10 et 20% (situation de Boumerdès à Minorque ou à Théoule-sur-Mer)
> 2 m, forts courants	Risque fort de rupture des amarres. Risque fort d'endommagement et de destruction des bateaux. Certains équipements fixes du port sont endommagés.	50% (situation après la « sèche » de 2006 à Minorque).
Port vidé / vague par-dessus la digue.	Bateaux / barques cognent le fond. Endommagement très important pour les bateaux et les installations. Possible rupture des jetées. Mise au sec des embarcations.	

Tableau 1 : évaluation du risque pour les ports et les zones portuaires.

L'évaluation du risque au niveau des ports est indépendante des échelles de travail.

Le risque pour les personnes qui logent dans les bateaux sera directement lié au risque des embarcations.

Concernant les vitesses de la vague à l'intérieur des ports, il s'agit d'un paramètre qui apparaît important pour le calcul de dommages, mais les données historiques (dont le tsunami de Boumerdès) n'apportent aucune information sur ces valeurs.

A moyen terme, concernant l'évolution de la méthode, pour une évaluation plus détaillée des dommages dans les ports, on note plus particulièrement la nécessité de : 1) prendre en considération la vitesse des vagues à l'intérieur du port (les données historiques, dont celles du tsunami de Boumerdès, sont insuffisantes pour caler aujourd'hui ce paramètre, par rapport à des taux de dommage), 2) la fréquence de résonance du port et la comparer avec celles vagues.

2.3.5. Routes et réseau ferroviaire

En cas d'inondation des bords de mer, un des points importants pour la gestion des secours sera de connaître les axes routiers ou ferroviaires bloqués ou impactés.

Le tableau suivant résume les trois niveaux de dommages distingués par les réseaux routiers et ferroviaires.

Agression	Description
Pas d'impact	Le réseau n'est pas impacté par le tsunami
Impacté	Réseau envahi par l'inondation et dénoyé lorsque les eaux se retirent. La présence d'objets abandonnés par les flots bloquant le réseau est possible.
Inondé	Une partie du réseau reste longtemps inondé après le retrait des eaux (zones de faible pente).

Tableau 2 : évaluation du risque pour les routes et le réseau ferroviaire.

L'évaluation du risque au niveau des axes de communication est indépendante des trois échelles de travail.

3. Caractérisation des sites pilotes et identification des enjeux

Sur la base du principe d'évaluation de la vulnérabilité aux tsunamis présentée plus haut, ce chapitre présente pour chacun des trois sites pilotes :

- Introduction du site pilote, avec une caractérisation des communes, un historique des stations balnéaires, et la description des endroits particuliers en bord de mer avec une attraction touristique.
- Types de côte rencontrés, en fonction des critères utilisés dans le rapport de la tâche WP2.1 du projet ALDES (Monfort et Terrier, 2010) :
 - o Type 1. Côte rocheuse, falaise, platier, zone naturelle.
 - o Type 2. Côte rocheuse, falaise, platier, secteur urbanisé.
 - o Type 3. Plage sableuse ou des galets, occupation du sol naturelle et terrain en pente.
 - o Type 4. Plage sableuse ou des galets, zone urbaine et terrain en pente.
 - o Type 5. Petite plage en terrain de faible pente, occupation du sol naturelle.
 - o Type 6. Plage, zone urbaine et terrain de faible pente.
 - o Type 7. Plage sableuse large, présence de dunes littorales, des lacunes ou des plaines maritimes, zone naturelle.
 - o Type 8. Plage sableuse large, présence de dunes littorales ou des plaines maritimes, avec un secteur artificialisé derrière.
- La population. Caractérisation et localisation des secteurs extérieurs fréquentés en bord de mer (plages, promenades) et estimation de la fréquentation. Estimation d'un taux d'occupation des immeubles.
- Milieu bâti exposé. Nombre de bâtiments et répartition en % par type de bâti (cf. sous-chapitre 2.3) par quartier d'habitation homogène :
 - o Type 1 : bâtiment à plusieurs étages avec un RDC transparent (vitrines, terrasses, commerces).
 - o Type 2 : bâtiment à plusieurs étages avec un RDC protégé avec des murs.
 - o Type 3 : bâtiment à RDC simple avec des vitrines, terrasses ou commerces.
 - o Type 4 : bâtiment à RDC simple protégé avec des murs.
- Ports,
- Parkings,
- autres enjeux majeurs spécifiques à la commune

3.1. SITE BANDOL – SANARY-SUR-MER – SIX-FOURS-LES-PLAGES

Ce site comprend trois communes du département du Var (83) : Bandol, Sanary-sur-Mer et Six-fours-les-plages.

Le début de l'activité touristique dans ce secteur est marqué par l'arrivée du chemin de fer du littoral en 1856. A cette date, il s'agissait surtout d'un tourisme hivernal, venu jouir d'un climat tempéré. Puis, à partir des années 1930, l'engouement pour les bains de mer a donné lieu à l'essor du tourisme d'été.

La commune de Bandol présente un port avec un abri naturel. Ce port, avec 1 600 places, est le 9^{ème} port de plaisance de France et le plus important entre Marseille et Hyères.

La ville de Sanary-sur-Mer connaît aussi une forte croissance depuis les années 1980 à 1990 sur le plan touristique.

La commune de Six-fours-les-plages est un site stratégique de vigilance du transit maritime depuis longtemps. La commune comprend aussi l'archipel des îles Embiez. La grande île des Embiez est accessible par bateau. Sa réputation est essentiellement dû à la préservation des espaces naturels.

3.1.1. Types de côte

La commune de Bandol présente les types de côte suivants (Figure 10) :

- Types 1 et 2, côte rocheuse, à l'Ouest de la commune.
- Type 4, plage en zone urbaine et terrain en pente. Ce type couvre l'ensemble de plages de la commune, la plage du Lido (limitant avec la commune de Sanary-sur-Mer), la plage du Casino en centre-ville, la plage de Rènecros et des calanques à l'Ouest.

La commune de Sanary-sur-Mer présente (Figure 10) :

- Type 2 sur les berges rocheuses de la commune
- Type 4 sur l'ensemble de plages de la commune, soit : l'Esplanade, Portissol, Beaucours, la Gourguette, la plage Dorée, la roche taillée et la plage du Lido.

Au niveau de la commune de Six-fours-les-plages, il s'agit (Figure 10) des :

- Types 1 et 2 sur tous les secteurs rocheux tout le long de la commune.
- Type 4 à la plage de la Bonnegrâce et le port du Brusç.
- Type 6, plage d'extension limitée et une arrière-plage de topographie plate, concernant les plages de la Frégate, la Coudoulière, le Rayolet, le Cros et les Charmelles.

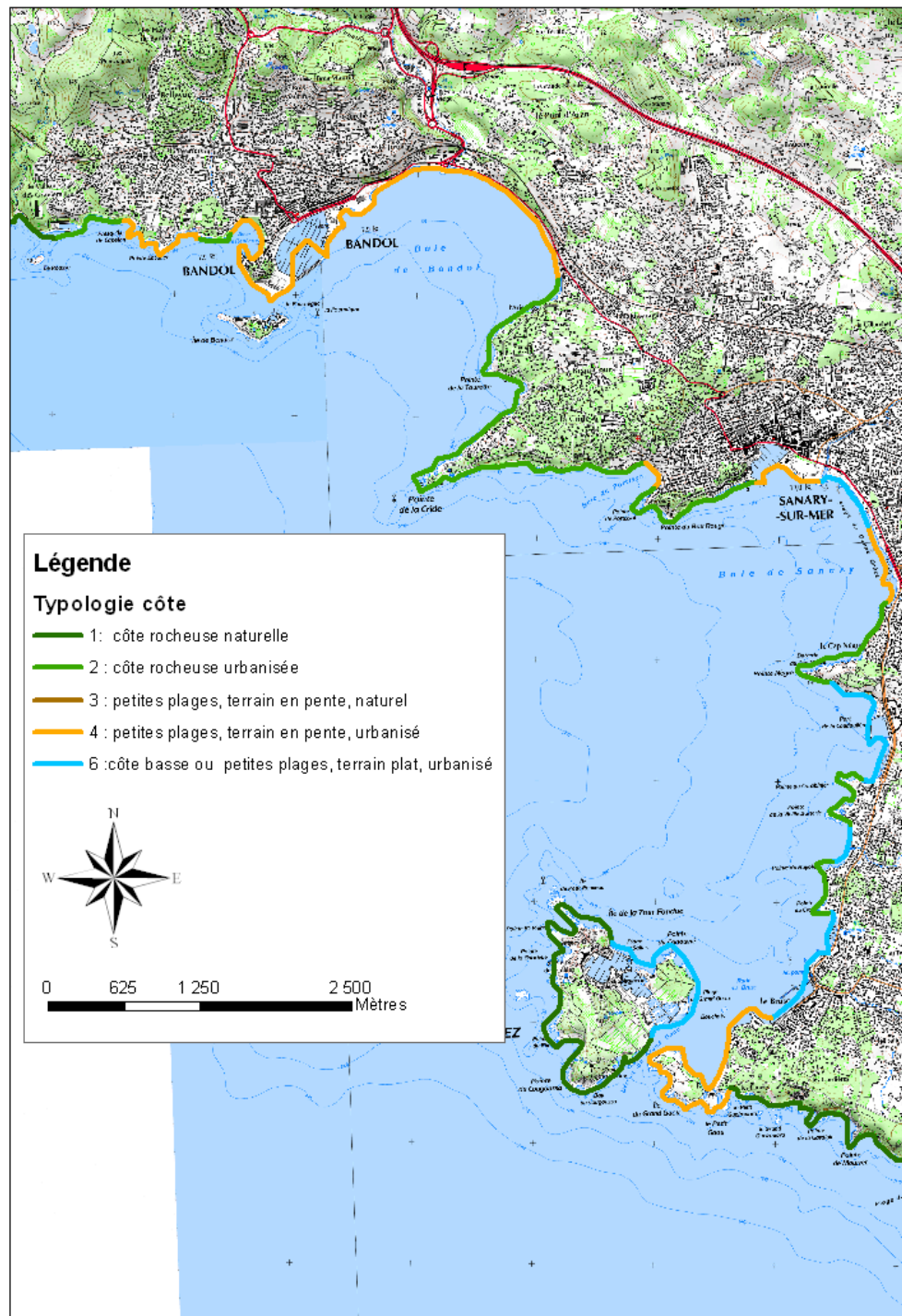


Figure 10 : types de côte rencontrés sur les communes de Bandol, Sanary-sur-Mer et Six-fours-les-plages.

3.1.2. Population

Données INSEE

Le Tableau 3 présente les données INSEE (2006) concernant la population et le nombre de logements, séparés entre résidences principales, secondaires ou vacantes. Le poids des habitations touristiques est très élevé pour les trois communes car presque la moitié des logements est à usage secondaire. La dernière colonne (population 2006 : facteur « +2,3 » personnes par logement secondaire) est déduite à partir des données INSEE 2006 et essaie de donner une idée de la population maximale, en considérant tous les logements secondaires ou vacants occupés à une moyenne de 2,3 personnes par logement.

Tableau 3: données INSEE 2006 de logements et population.

Commune	Numero INSEE	Ilot IRIS	Logements total	Résidences principales	Logements secondaires et vacants	Population 2006	Population 2006 + 2,3 personnes par logement secondaire
Bandol	83009	Sud-Ouest	4651	1671	2980	3353	10697
Bandol	83009	La Ville	2524	1192	1332	2075	5805
Bandol	83009	Nord	3693	1499	2194	3219	8494
Total Bandol			10868	4362	6506	8647	24996
Sanary-sur-Mer	83123	Pierredon Sud-Mortier-Colombet-Boucene	941	890	51	2217	2164
Sanary-sur-Mer	83123	La Baou	2613	1380	1233	2519	6010
Sanary-sur-Mer	83123	Centre Ville	2751	1562	1188	2566	6326
Sanary-sur-Mer	83123	Port Issol	1689	976	714	1819	3884
Sanary-sur-Mer	83123	Beaucours-La Gorguette-La Morvenede	3183	1567	1617	3447	7321
Sanary-sur-Mer	83123	Les Picotieres-Poussaraque-La Milhiere	1500	939	561	1926	3449
Sanary-sur-Mer	83123	Nord	1923	1403	519	3528	4422
Total Sanary-sur-Mer			14599	8717	5881	18023	33577
Six-Fours-les-Plages	83129	Roumagnan	22	11	11	33	51
Six-Fours-les-Plages	83129	Talian	1036	880	156	2239	2383
Six-Fours-les-Plages	83129	Audibert	1244	1076	167	2375	2861

Six-Fours-les-Plages	83129	Verger	1377	1212	165	2614	3166
Six-Fours-les-Plages	83129	Reynier	1279	1111	168	2246	2942
Six-Fours-les-Plages	83129	Allegre	1068	989	78	2407	2456
Six-Fours-les-Plages	83129	Bouillibaye	1212	1032	180	2307	2788
Six-Fours-les-Plages	83129	Font de Fillol	3324	1722	1601	3539	7644
Six-Fours-les-Plages	83129	Rayolet	2977	1263	1714	2877	6846
Six-Fours-les-Plages	83129	Le Brusca	2861	1499	1361	3170	6579
Six-Fours-les-Plages	83129	Les Lones	2881	1604	1277	2892	6626
Six-Fours-les-Plages	83129	Bucarin	1839	1171	668	2467	4230
Six-Fours-les-Plages	83129	Fort	1271	1088	183	2690	2923
Total Six-Fours-les-plages			23581	15716	7127	34325	54236
Total 3 communes			49048	28795	27168	60995	112809

Secteurs extérieurs

Un travail de caractérisation des secteurs à l'extérieur (plages, promenades, esplanades) a été fait. Ce sont ces secteurs qui présentent a priori un risque aux tsunamis le plus élevé car on y trouve une forte présence de personnes à une cote topographique très basse.

Au niveau de la commune de Bandol, on trouve cinq plages en centre-ville, en plein cœur de la station balnéaire :

- Plage du Lido
- Plage du Grand Vallat et de la Résidence
- Plage du Casino
- Plage Centrale
- Anse de Rènecros

A l'Ouest de la commune, se trouvent des plages ou des criques plus petites en taille et plus éloignées du centre-ville. Ces plages sont :

- Plage de l'Eden Roc
- Plage de Barry
- Plage du Capélan
- Plage de l'Anglaise
- Plage des Engraviers

A Sanary-sur-Mer, on dénombre les plages suivantes, présentant toutes une arrière-plage urbanisée :

- Plage du Lido
- Plage Dorée
- Plage de la Gorguette
- Plage du Beaucours
- Plage Partissol
- Les criques de la pointe Bau Rouge
- Plage du Centre et l'Esplanade
- Chenal de la Rappe

A Six-fours-les-plages, sauf dans les îles des Embiez, toutes les plages ont une arrière-plage urbanisée :

- Plage de la Bonne grâce
- Plage de la Coudoulière
- Plage de la Frégate
- Plage Rayolet
- Plage du Cros
- Plage des Charmelles
- Plages des îles Embiez, dans un contexte naturel.

il n'existe pas d'étude de fréquentation des plages de ce secteur. Toutefois, il est possible de s'appuyer sur l'étude de Dolle et al. (2000) relative à Roquebrune-Cap-Martin (Alpes-Maritimes), caractérisée par des plages situées dans un contexte environnemental plus ou moins similaires et dans un secteur lui-aussi très touristique. Ces valeurs de densité sont en pleine saison estivale de :

- 9,2 personnes/100m² pour une plage en centre-ville et,
- 4 personnes/100m² pour une plage en contexte urbain mais plus excentré.

Pour des plages ou criques situées dans un environnement complètement naturel cette densité est nettement plus faible.

Dans ce contexte touristique et géomorphologique, on a cartographié trois types de plages : plage en centre-ville, plage urbaine plus excentrée et plage ou crique en milieu naturel. Les esplanades, promenades, etc. à basse cote topographique ont été aussi délimitées et se classent aussi entre centre-ville et zone excentrée.

La distinction entre plages en bord de la station balnéaire et plages excentrées a été réalisée à partir des orthophotos. Cette analyse a été complétée par certaines

orthophotos du secteur prises un jour d'été, et cela pour : 1) distinguer les secteurs les plus fréquentés, 2) comparer les valeurs de densité observées à partir d'une mesure manuelle avec ceux proposés par l'AFIT (Dolle et al., 2000).

Cette analyse a permis de préciser pour les plages de centre-ville, une valeur de densité de 8 à 9 personnes par 100 m², tandis que les plages plus éloignées du centre-ville présentent des valeurs moindres.

Occupation (15 aout, 15h)		Nombre de personnes / 100m ²
Occupation forte	Plage en centre historique ou centre-ville	9.2
	Plage en zone excentrée, promenade, port	4
Plage naturelle		1
Occupation faible		0,1

Tableau 4 : densités de fréquentation des secteurs extérieurs pour le site bandol – Six-fours-les plages et Sanary-sur-Mer.

La fréquentation des berges de mer pendant une journée hors saison est calculée sur la base de la densité de population par îlot IRIS.

Occupation des bâtiments

A partir de la BD topo, qui délimite le bâti courant de manière individuelle avec la hauteur estimée du bâtiment, il est déduit : le nombre d'étages de chaque bâtiment, puis la surface « habitable », égale à la surface en plan du bâtiment fois le nombre de niveaux.

Sur la base des données INSEE 2006 et des surfaces « habitables », il a été calculé un ratio de personnes par 100 m² : en plein été (population maximale) et en hiver ou hors saison (population recensée).

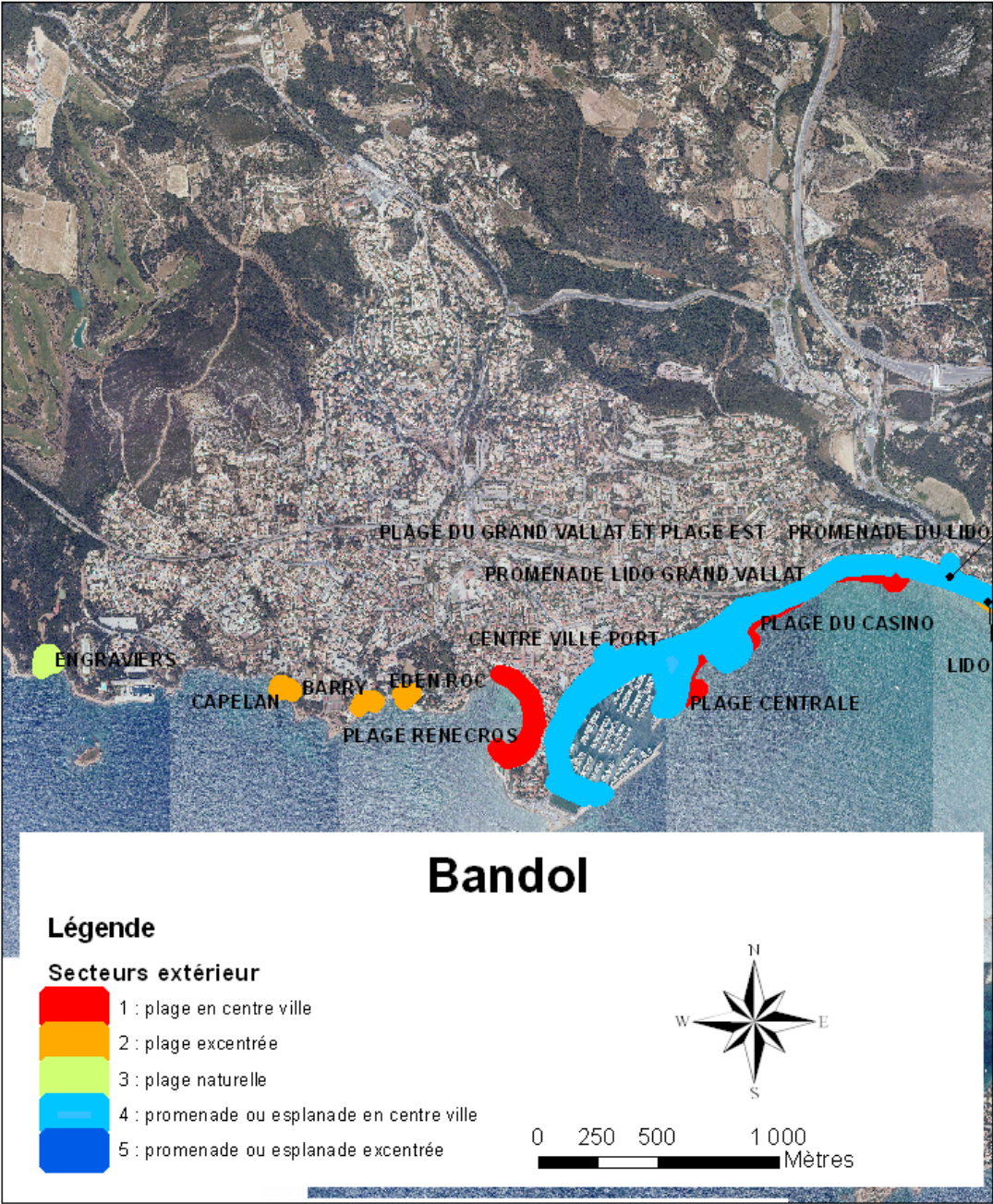


Figure 11 : Secteurs extérieurs délimités à Bandol.

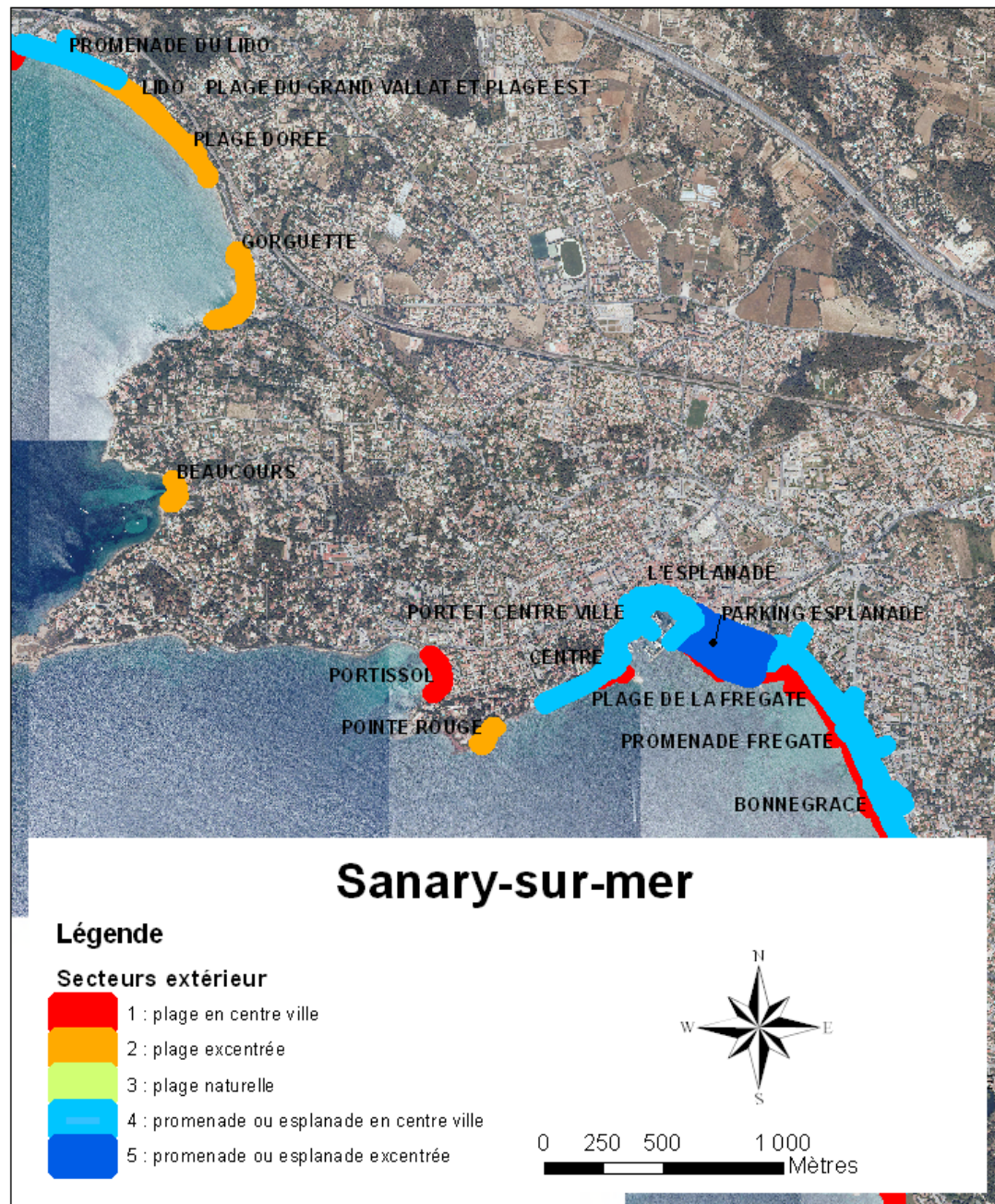


Figure 12 : Secteurs extérieurs de Sanary-sur-mer.

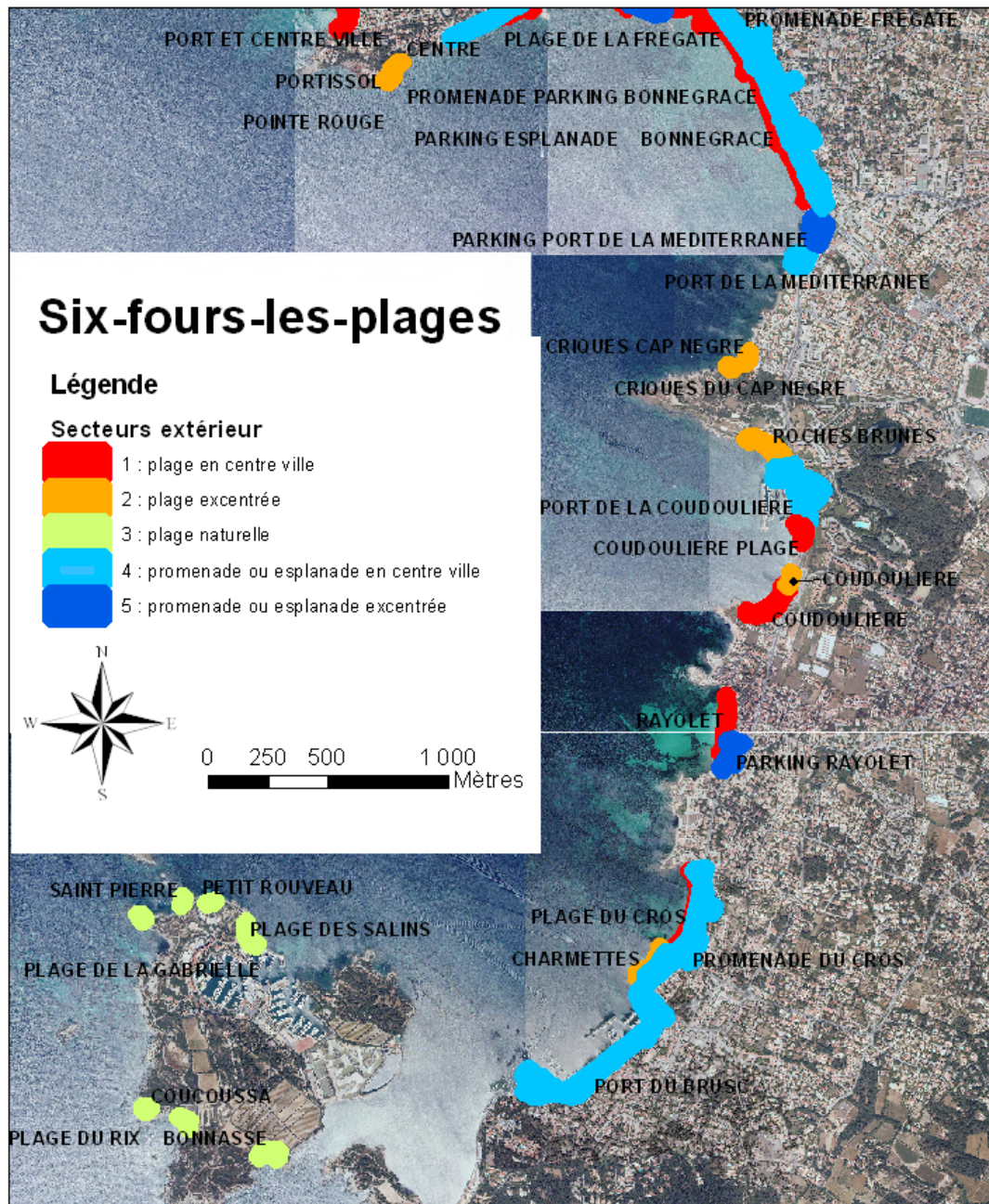


Figure 13 : Secteurs extérieurs de Six-fours-les-plages.

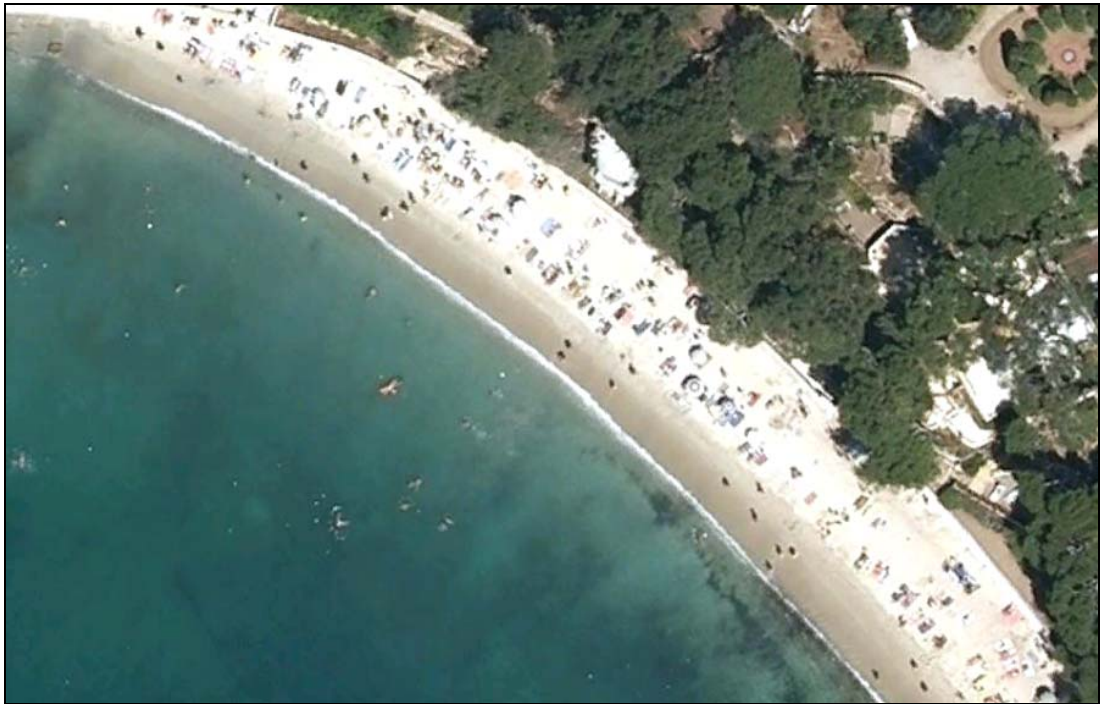


Figure 14 : Plage de Rènecros à Bandol un jour d'été. Il s'observe une forte fréquentation de cette plage, avec des densités de population en concordance avec les valeurs de l'AFIT. Image extraite de Google Earth ©.



Figure 15 : Image de la plage de Roches Brunes à Six-fours-les-plages un jour d'été. Il s'observe une fréquentation de la plage moindre que dans la Figure 14. Image extraite de Google Earth ©.

Commune	Iris	Surface « habitable » en m²	Logements	Population maximale	Population recensée 06	Personnes/100m² été	Personnes/100m² hiver
Bandol	Sud-Ouest	479665	4651	10697	3353	2.230	0.699
Bandol	La Ville	704949	2524	5805	2075	0.823	0.294
Sanary-sur-Mer	Centre Ville	455760	2751	6326	2566	1.388	0.563
Sanary-sur-Mer	Port Issol	246883	1689	3884	1819	1.573	0.737
Sanary-sur-Mer	Beaucours-La Gorguette-La Morvenede	743793	3183	7321	3447	0.984	0.463
Six-Fours-les-Plages	Font de Fillol	419421	3324	7644	3539	1.823	0.844
Six-Fours-les-Plages	Rayolet	469628	2977	6846	2877	1.458	0.613
Six-Fours-les-Plages	Le Brusac	541611	2861	6579	3170	1.215	0.585
Six-Fours-les-Plages	Les Lones	410123	2881	6626	2892	1.616	0.705
Six-Fours-les-Plages	Bucarin	410123	1839	4230	2467	1.031	0.602

Tableau 5 : ratios de personnes par surface bâtie à Bandol, Sanary et Six-fours-les-plages.

3.1.3. Bâtiments

Les types de bâtiment rencontrés dans la zone sont les suivants :

- Au cœur des stations balnéaires, dans le centre-ville des trois communes, on trouve des bâtiments de petit habitat collectif hébergeant des nombreux commerces au RDC (type 1).
- Les zones de lotissements, plus excentrées, ont des maisons individuelles de plusieurs niveaux (type 2) et quelques bâtiments à un seul niveau (type 4). Beaucoup de ces constructions se situent à l'abri des agressions côtières, car se trouvent sur des buttes topographiques. Dans les zones plus excentrés on trouve aussi des nouveaux bâtiments d'habitat collectif.
- En bord de mer on peut trouver des constructions légères qui servent de restaurant, bar, etc., (type 3) mais ces constructions sont moins fréquentes que sur d'autres endroits de la Côte d'Azur.

Dans la zone d'étude se trouvent plusieurs campings mais ils ne sont pas à une cote topographique basse ou en proximité de la mer.



Figure 16 : Exemple de bâtiment d'habitat collectif, de type 1, en centre ville, avec des commerces au RDC, au port de Bandol (extrait de Google Street View ©).



Figure 17 : Exemple de bâtiment d'habitat collectif, de type 2, excentré par rapport au centre ville, à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).



Figure 18 : Exemple de maison individuelle de deux niveaux, de type 2, à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).



Figure 19 : Exemple de bâtiment d'un seul niveau, de type 3, avec des grandes ouvertures en front de mer à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).



Figure 20 : Exemple de maison individuelle d'un seul niveau (type 4) à Six-fours-les-plages (extrait de Google Street View ©).

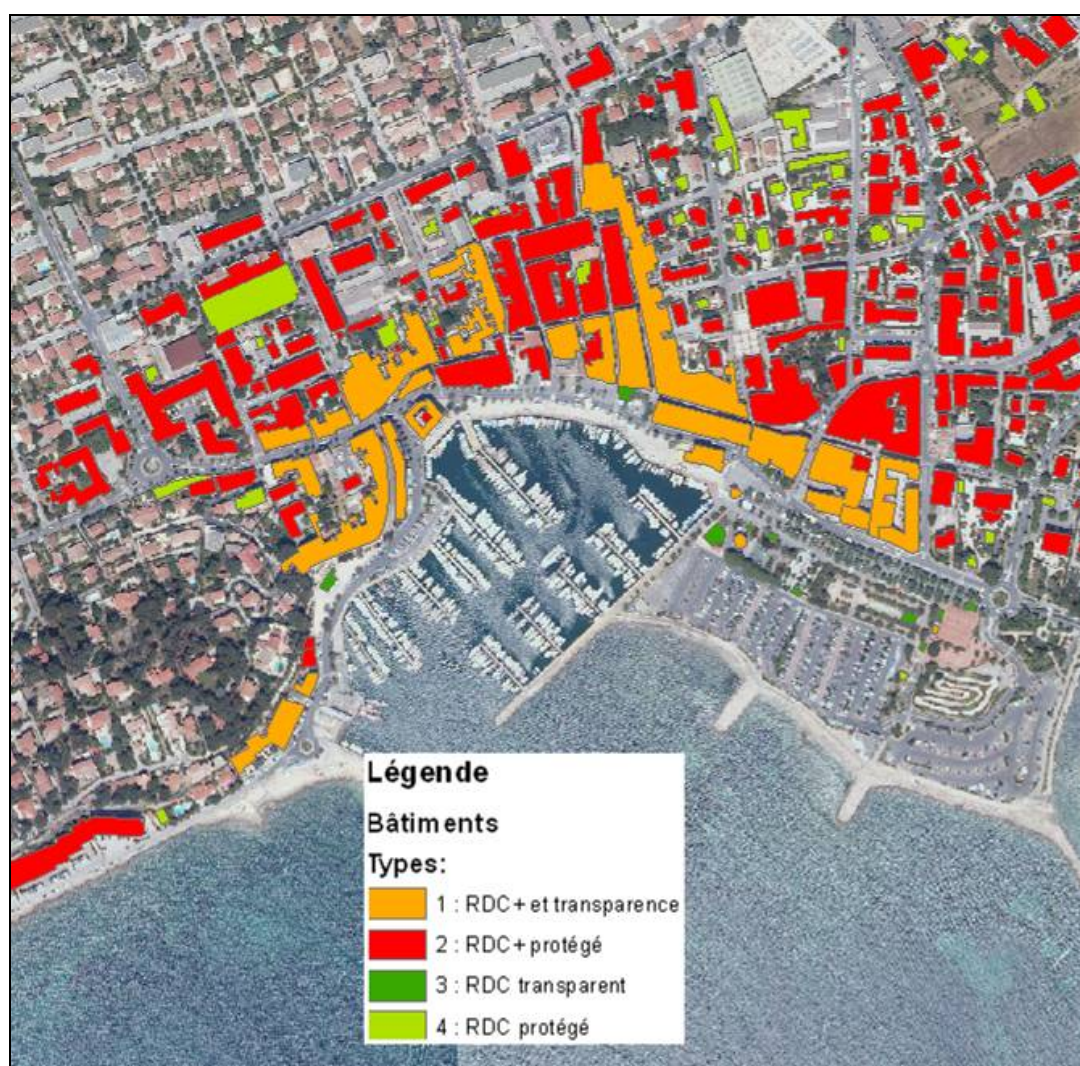


Figure 21 : Carte de la répartition de différents types des bâtiments (de hauteur inférieure à 5 m) du centre ville de Sanary-sur-mer.

3.1.4. Ports

Dans ce secteur, pour chaque port (Figure 22 et Tableau 6), on indique le nombre de places, la profondeur moyenne, minimale et maximale du bassin.

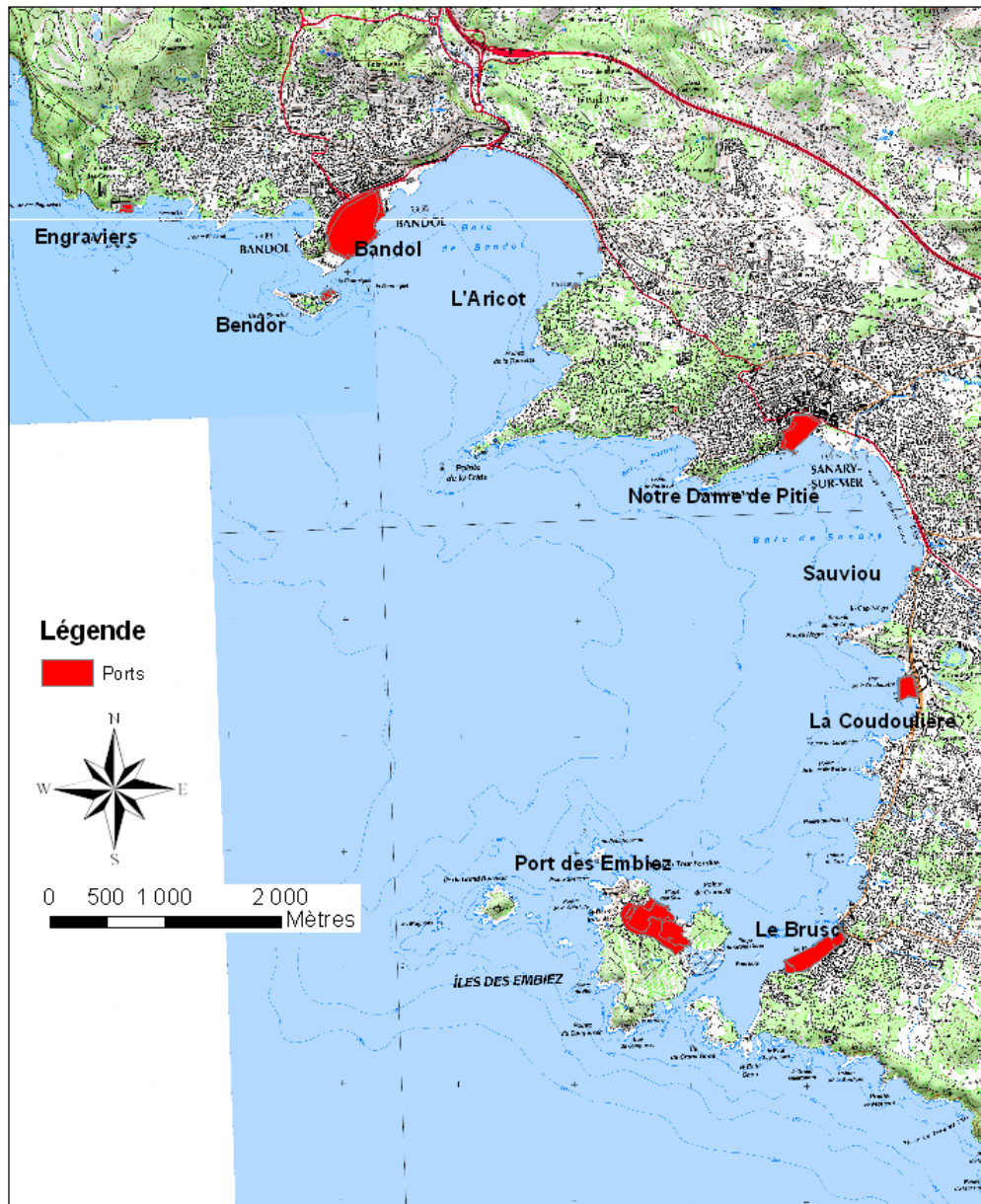


Figure 22 : localisation des ports du site de Bandol, Six-fours-les-plages et Sanary-sur-Mer.

Nom du port	Commune	Nombre de places	Prof.	Prof. min	Prof. max
Bandol	Bandol	1600		1.5	3.2
Bendor	Bandol	25	2.5		
Engraviers	Bandol	60			
L'Aricot	Sanary-sur-Mer	25			
Notre Dame de Pitié	Sanary-sur-Mer	630	2	0.7	3
Port Brusc	Six-Fours-les-Plages	680	4	0.2	5
Port Coudoulière	Six-Fours-les-Plages	447		1.7	3
Port Saint Pierre des Embiez	Six-Fours-les-Plages	750	3	1.5	3.5
Sauviou	Six-Fours-les-Plages	25			

Tableau 6 : Ports des communes de Bandol, Sanary-sur-Mer et Six-fours-les-plages.

3.1.5. Parkings

Sur l'ensemble des trois communes, la BD Topo recense 72 parkings ou zones de stationnement (souterrains ou en surface). Parmi eux, 29 se trouvent en zones « inondables », c'est-à-dire, à une côte topographique inférieure à 5 mètres (Figure 23).

Une analyse des orthophotos a permis de constater que la totalité de ces 29 parkings sont en surface libre (sans niveaux de parking en sous-sol).

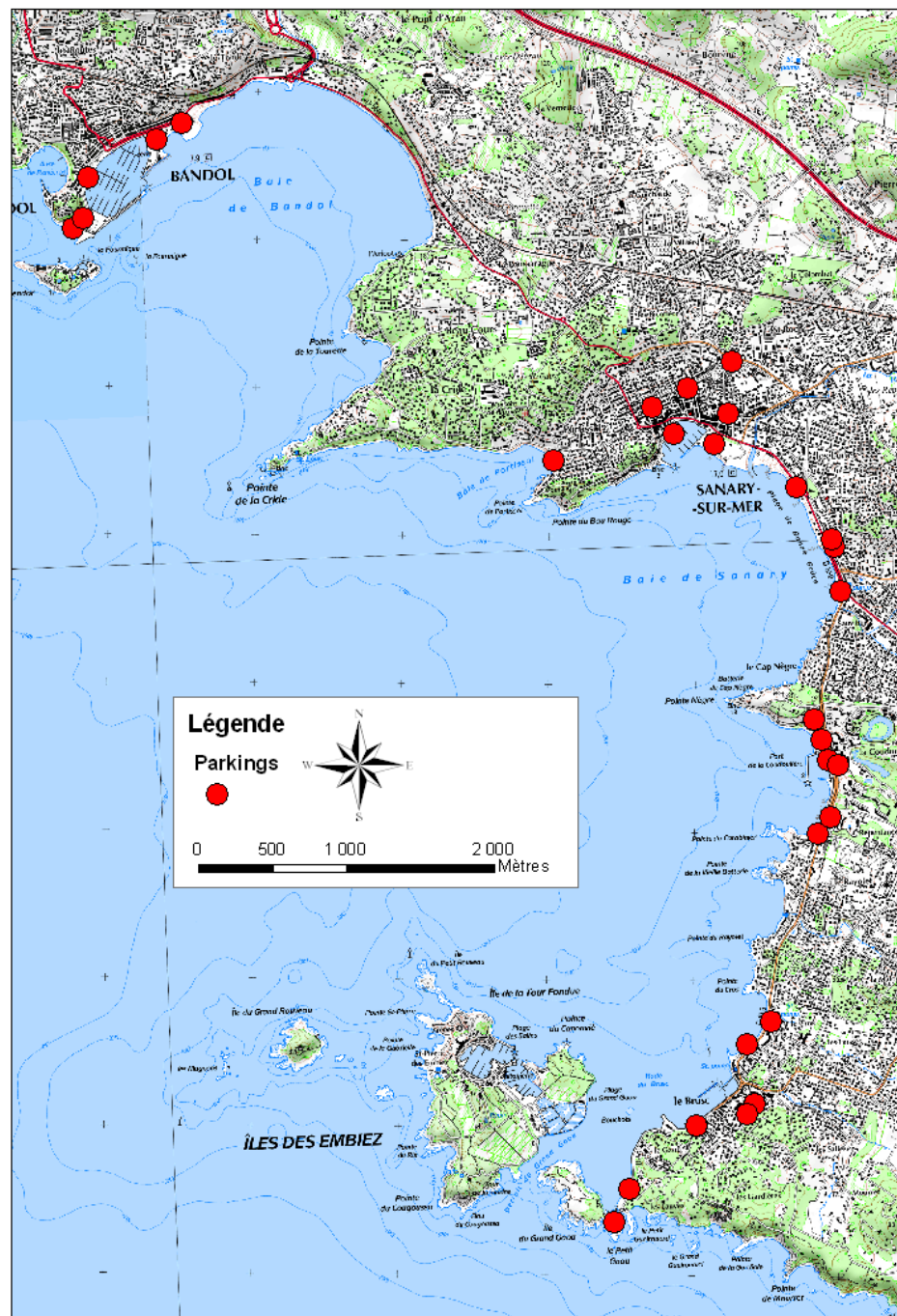


Figure 23 : Localisation des parkings situés à faible côte topographique à Bandol, Sanary-sur-mer et Six-Fours-les-plages.

3.2. SITE LEUCATE – BARCARES

Ce site pilote comprend deux communes, Leucate, dans le département de l'Aude, et Barcarès, dans le département des Pyrénées-Orientales.

Ces deux communes se situent dans une bande de terre entre l'étang de Leucate et la mer. Cette bande est restée longtemps insalubre et quasi déserte.

Le long du littoral languedocien, le développement des stations balnéaires a pris son essor dans les années 1960-1970 avec la mission interministérielle d'aménagement touristique du littoral du Languedoc-Roussillon. Cette mission avait pour objectif de diversifier l'économie régionale et récupérer les devises des touristes du Nord de l'Europe à travers différentes actions (Jouvin, 2008):

- stopper la spéculation foncière en évitant la prolifération de lotissements et d'habitat diffus ;
- structurer et équilibrer la capacité touristique (unités nouvelles et stations anciennes) ;
- définir, concevoir et réaliser les équipements généraux : infrastructures, assèchement des marécages, réalisation de boisements, canalisation des cours d'eau, eau potable
- créer des coupures d'urbanisation entre les stations nouvelles à l'échelle des unités touristiques nouvelles.

Dans le cadre de cette mission, des nouvelles unités touristiques ont été créées : la Grande Motte, bassin du Thau, Gruissan, Port Leucate - Port Barcarès et Saint Cyprien. Chacune de ces nouvelles villes a une caractéristique urbanistique et architecturale différente, ainsi on trouve (Sagnes 2001) :

- la maison individuelle, à Port Leucate,
- les marinas, à Port-Camargue et Port-Barcarès,
- les pyramides, à La Grande Motte,
- les maisons colorées à étages, à Cap d'Agde,
- les petits immeubles à Gruissan.

La station balnéaire de Barcarès est construite autour du port de Barcarès, port de pêche important à partir du XIXème siècle. Au cours du XXème siècle, les bains prennent de l'importance. Jusqu'aux années 1970, les vacanciers s'installent pendant l'été dans des villages éphémères (ou de fortune).

A l'origine, Leucate n'était qu'une petite île. Peu à peu, le plateau de la falaise s'est dressé au-dessus des flots et les phénomènes naturels se sont chargés de transformer Leucate en presqu'île, donnant peu à peu naissance aux diverses entités actuelles disposées autour de l'ancien château aujourd'hui disparu.

La plage de Franqui, au nord de la commune, est fréquentée depuis plus d'un siècle. Elle a accueilli de nombreux artistes qui ont grandement contribué à sa réputation.

Comme dans le cas de Barcarès, autour du Port Leucate dans les années soixante s'est bâti une grande ville de vacances. La nouvelle station balnéaire englobera les anciennes stations de Leucate-plage, le Franqui et Leucate. La commune accueille aussi un village naturiste, un haut-lieu du tourisme naturiste en France.

3.2.1. Types de côte

La commune de Leucate présente les types de côte suivants (Figure 24) :

- Type 1, sur les secteurs avec des falaises de Cap Leucate.
- Type 4, plages avec une arrière-plage en pente et zones urbaines, concernant les plages de Franqui (nord du cap Leucate) et Leucate-plage.
- Type 7, grande plage en zone naturelle, plage de Monse Mouret (entre le Grau et Leucate-plage) et la plage des Coussoules au nord de la commune.
- Type 8, grande plage et zone urbaine derrière, sur un petit tronçon entre les plages de Franqui et Coussoules ; la plage de Port Leucate et la plage des villages naturistes.

Le littoral de la commune de Barcarès est de type 8 (Figure 25) sur son ensemble sauf un petit secteur au sud de type 7 (jetée de l'Agli).

3.2.2. Population

Données INSEE

Le Tableau 7 expose les données INSEE 2006 de population et logements pour les deux communes. On observe un ratio très important de résidences secondaires, ce qui est cohérent avec l'historique du site.



Figure 24 : carte avec les types de côte du site Leucate-Barcarès.



Figure 25: Barcarès, maisons en première ligne de mer. Type de cote 8.

Commune	Logements total	Résidences principales	Résidences secondaires	Logements vacants	Population 2006	Population 2006 + 2,3 personnes par logement secondaire
Leucate	15619	1718	13815	86	3435	35923
Le Barcarès	16738	1936	14727	75	4033	38543
Total	32357	3654	28542	161	7468	74466

Tableau 7 : Données INSEE 2006 sur la population et les logements de Leucate et Barcarès.

Population à l'extérieur

On ne dispose pas de valeurs spécifiques à la fréquentation des plages relatives au site d'étude. Par contre, l'étude de Dolle et al. (2000) sur la fréquentation touristique de plusieurs plages du littoral français, indique pour la plage d'Argelès-sur-Mer (Pyrénées-Orientales), située quelque kilomètre au sud de Barcarès que cette plage est « *caractéristique de la côte de la région Languedoc-Roussillon, avec une station réputée et avec des plages de grande extension* ». Cette étude observe que la densité de personnes pendant l'été est élevée mais pas uniforme tout le long de la plage. Elle est plus élevée à proximité des équipements (port, cœur de la station balnéaire, parking).

Ainsi, la densité maximale (personnes/100m²) indiquée par Dolle et al. (2000) indique :

- 2.2 personnes pour un espace naturel,
- 5.8 pour une zone tampon (parc urbain ou zone pavillonnaire),
- 6.2 au cœur de la station.

Ces valeurs de fréquentation peuvent être des bons indicateurs pour celle relative à la plage de Barcarès – Leucate, en période estivale et située dans le même contexte géographique, quelques kilomètres plus au nord.



Figure 26 : Exemple de la délimitation des trois types de plage à Leucate-plage.

Suivant les observations indiquées ci-dessus, les plages ont été délimitées en tenant compte de la nature de la zone en arrière de la plage (zone naturelle, zone tampon et centre de la station balnéaire). Un exemple de cette cartographie se montre dans la Figure 26.

Concernant la fréquentation pendant une journée hivernale, celle-ci est basée sur la densité de population INSEE de la commune. Dans le cas de ces deux communes, avec une très grande surface urbanisée et avec une population hivernale très faible, ce ratio sera très bas.

Population à l'intérieur des immeubles

A partir de la BD topo, qui délimite le bâti courant de manière individuelle et renseigne sur la hauteur du bâtiment, le nombre d'étages de chaque bâtiment et par conséquent la surface « habitable », égale à la surface en plan du bâtiment fois le nombre de niveaux sont calculées.

Puis, sur la base des données INSEE 2006 (Tableau 8) et des surfaces « habitables » il a été calculé un ratio de personnes par 100 m² : 1) en journée d'été, population maximale, 2) en journée hivernale, population recensée.

Commune	Surface « habitable » en m ²	Logements	Population maximale	Population censée 06	Personnes /100m ² été	Personnes/ 100m ² hiver
Le Barcarès	1261289	16758	38543.4	4033	3.06	0.32
Leucate	1550944	15619	35923.7	3435	2.32	0.22

Tableau 8 : Nombre de personnes à l'intérieur des immeubles en périodes estivale et hivernale à Leucate et Barcarès.

3.2.3. Bâtiments

Tout le long de la zone pilote, on y distingue différents types d'habitat (Figure 27 et Figure 31) :

- Lotissements, avec des bâtiments d'un ou deux niveaux, isolées ou accolées (types 2 et 4). Dans le centre de la station balnéaire, les RDC de certains bâtiments peuvent héberger des établissements commerciaux avec des grandes ouvertures (type 1 ou 3), mais la transparence du RDC n'est pas systématique pour l'ensemble de bâtiments en 1^{ère} ligne de mer. La distribution entre bâtiments d'un ou deux niveaux dépend du type architectural suivi dans chaque îlot de maisons. Les lotissements sont rencontrés plus souvent à Leucate.

- Habitat collectif, plus commun à Barcarès qu'à Leucate. Dans les rues commerçantes les RDC sont occupés par des établissements commerciaux (type 1), en-dehors de ces axes, le RDC des habitats est protégé ou destiné à des garages (type 2).



Figure 27 : Exemple de maison individuelle avec un étage et un restaurant en terrasse (type 1), à Leucate-plage.



Figure 28 : Exemple de bâtiments d'habitat collectif du type 2 à Leucate (image de Google Street View ©).



Figure 29 : Exemple de bâtiments d'habitat collectif (type 1) avec des commerces au RDC à Port-Barcarès (image de Google Street View ©).



Figure 30 : Exemple de maison individuelle de deux niveaux en front de mer (type 2) à Leucate (image de Google Street View ©).



Figure 31 : Exemple de bâtiments d'un seul niveau de type 4 à Leucate.

3.2.4. Campings

A partir de la BD topo, on a localisé les campings des deux communes (Figure 32).

- Barcarès : 16 campings et 4 villages de vacances.
- Leucate : 5 campings et 4 villages de vacances.

Au même temps l'INSEE publie les données du nombre de places des campings au niveau communal et cela par catégorie de camping :

- Barcarès 3555 emplacements sur 13 campings
- Leucate 2308 emplacements sur 7 campings

3.2.5. Ports

Dans les communes de Barcarès et Leucate se trouvent deux grands ports.

Nom	Commune	Nombre de places	Profondeur moyenne (m)	Profondeur max (m)	Profondeur min (m)
Port Leucate	Leucate	1100	3	3	2
Port Barcarès	Le Barcarès	950		4	2

Tableau 9 : données relatives aux ports de Barcarès et Leucate (source Bloc Marine 2010).

3.2.6. Parkings

A partir de la BD topo, on recense 26 parkings ou zones de stationnement sur les deux communes. D'après l'analyse des images aériennes, il s'agit de parkings en surface.

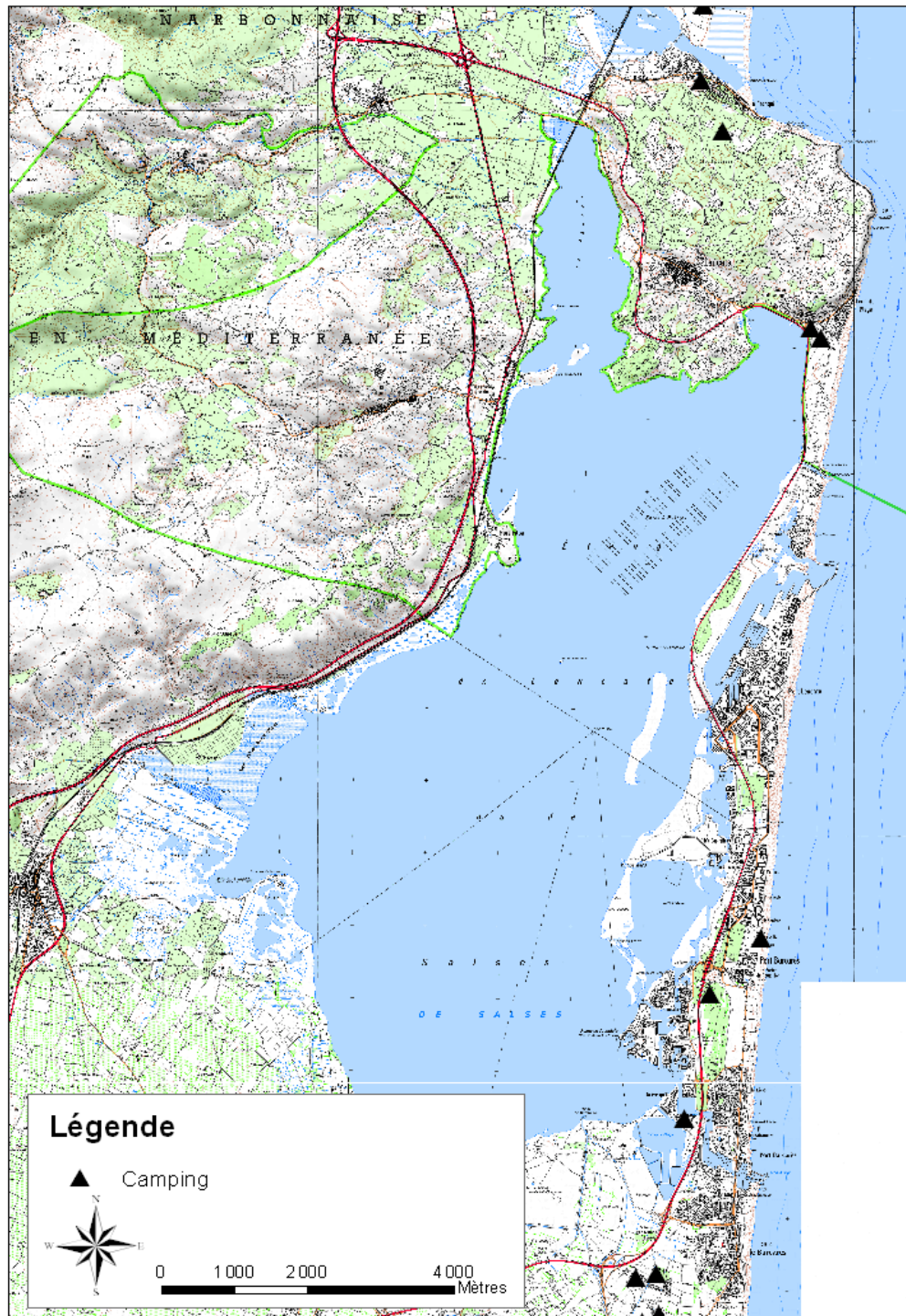


Figure 32 : Localisation des campings dans les communes de Leucate et Barcarès issue de la BD topo.



Figure 33 : Camping avec des mobiles-homes à Leucate, exemple de constructions légères (image de Google Street View ©).

3.3. SITE VILLENEUVE-LOUBET – ANTIBES – JUAN-LES-PINS

Ce site pilote comprend deux communes du département des Alpes-Maritimes, Antibes-Juan-les-Pins et Villeneuve-Loubet, en plein cœur de la Côte d'Azur.

Le centre-ville d'Antibes s'est développé autour du port et du fort Vauban. Le démantèlement des fortifications d'Antibes a commencé au cours du XIX^e siècle, parallèlement à une urbanisation croissante en direction de l'intérieur des terres et du cap d'Antibes. La station balnéaire de Juan-les-Pins, créée en 1882, a pris réellement son essor dans les années 1920.

Le littoral de Villeneuve-Loubet est caractérisé par la Marina, bâtiment qui ponctue la baie des Anges. C'est une œuvre architecturale originale qui lui a valu le label patrimoine du XX^e siècle. Située sur une friche littorale, dédiée initialement aux campings durant la période d'après-guerre, la construction de la Marina s'est échelonnée sur près de 25 ans. Aujourd'hui les 16 hectares du site abritent un port de plaisance avec une capacité d'accueil de 530 mouillages, un centre commercial et 4 pyramides géantes comprenant près de 1 500 logements.

3.3.1. Types de côte

L'ensemble de côte de la commune de Villeneuve-Loubet est de type 6, c'est-à-dire, plages d'extension limitée, en zone urbaine et terrain plat en arrière. On y distingue la zone de la Marina des Anges, avec son port, et la plage du parc de Vaugrenier.

La commune d'Antibes présente différents type de côte :

- Type 2, au cap d'Antibes et entre le port Vauban et la plage de la Salis
- Type 4 :
 - o la plage de la Salis, très proche du centre-ville d'Antibes.
 - o la plage de la Garoutte à l'Est du cap d'Antibes, entourée d'habitat dispersé.
 - o les ports de la Galice, l'Olivette et Mallet, à l'Ouest du cap d'Antibes.
- Type 6 :
 - o les plages au nord de la commune, avec une arrière-plage entre zones d'équipements sportifs, campings et habitat pavillonnaire
 - o la plage et promenade de Juan-les-Pins avec une zone urbaine dense (centre de la station balnéaire)
 - o la zone du port Vauban, en centre-ville d'Antibes.

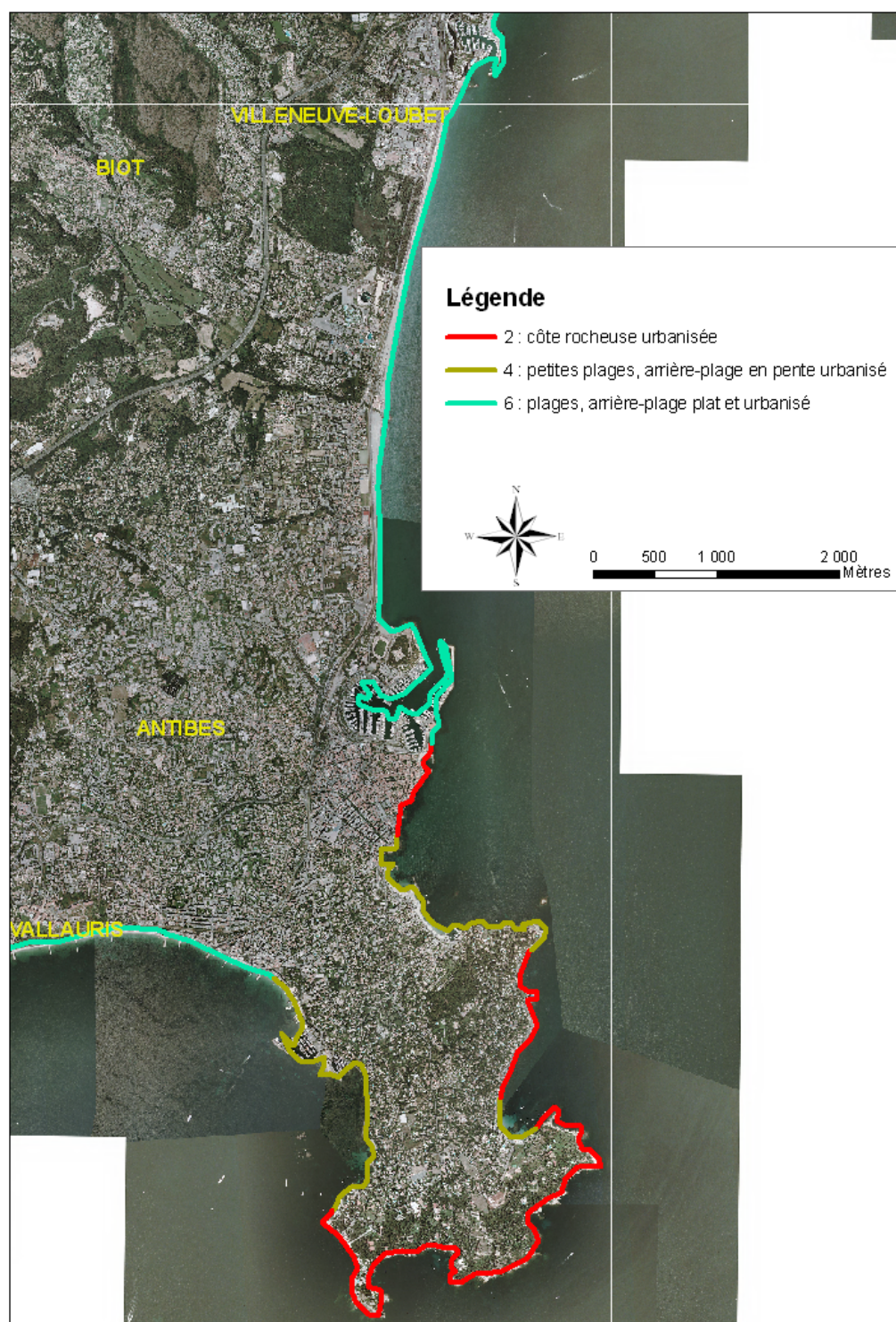


Figure 34 : Carte avec les types de côte du site Antibes – Villeneuve-Loubet.

3.3.2. Population

Secteurs extérieurs

Dans le cadre du projet RATCOM, une délimitation qualitative des zones en bord de mer en fonction de leur fréquentation touristique a été réalisée par le BRGM (Monfort et al., 2010) avec les données du Comité Régional du Tourisme (CRT), puis validée par celui-ci. Ces informations qualitatives sont estimées « à dire d'expert » par le CRT à partir de sa connaissance sur la fréquentation touristique du littoral, et sur les sites particulièrement fréquentés en période estivale.

Aujourd'hui, aucune donnée fine quantitative n'existe pour la zone côtière ou littorale en termes de fréquentation de la population touristique. L'Observatoire du tourisme travaille uniquement à l'échelle du département. C'est pourquoi les seules données potentiellement utilisables ont dû être estimées par le CRT.

A partir de cette estimation du CRT, une couche SIG a été produite par le BRGM, correspondant à la densité de la population touristique sur le linéaire littoral de la Côte d'Azur. Chaque portion de linéaire est affectée d'une toponymie (nom de la zone touristique), et d'une codification qualitative à dire d'expert de la fréquentation touristique (1 : faible, 2 : modérée ; 3 forte) :

- Forte: secteur avec une plage très peuplée, les gens restent généralement sur la plage.
- Modéré : secteur avec moins de personnes, parce que moins connu, plus excentré du centre-ville, etc.
- Faible: secteur avec des gens qui sont de passage, randonneurs, etc.

Concernant la fréquentation touristique sur le littoral, l'étude du CNRS « Evaluer et représenter le nombre d'usagers sur une plage urbaine (les Ponchettes, Nice) » présente une méthode de comptage des usagers. Parmi les résultats de cette étude, on trouve une comparaison du nombre d'usagers de la plage des Ponchettes pour trois journées de l'année (21 avril, 21 juillet, 22 septembre, 2007), Figure 35 et Figure 36.

Dans le cadre de Aldes, s'agissant du site pilote de Villeneuve-Loubet – Antibes – Juan-les-Pin, l'estimation sur la fréquentation des plages s'est appuyée sur l'étude de Robert et al. (2008).

La valeur retenue par Robert et al. (2008) comme occupation maximale en pleine saison estivale pour la plage des Ponchettes, de 8 personnes/100m², est celle appliquée pour les zones de forte occupation durant l'été retenue dans le cadre de RATCOM (suivant l'avis d'expert du CRT).

Cette valeur est cohérente avec la fourchette de valeurs indiquées par l'AFIT (Robert et al., 2008) comme densité gênante pour la population (4 à 8 personnes par 100 m²). Néanmoins, une distinction est faite entre les plages de forte fréquentation situées en centre-ville et les secteurs de forte fréquentation qui ne sont pas des plages

(promenades, ports) où une densité moindre est attendue. Une valeur de 4 personnes/100 m² a dans ce cas été considérée.

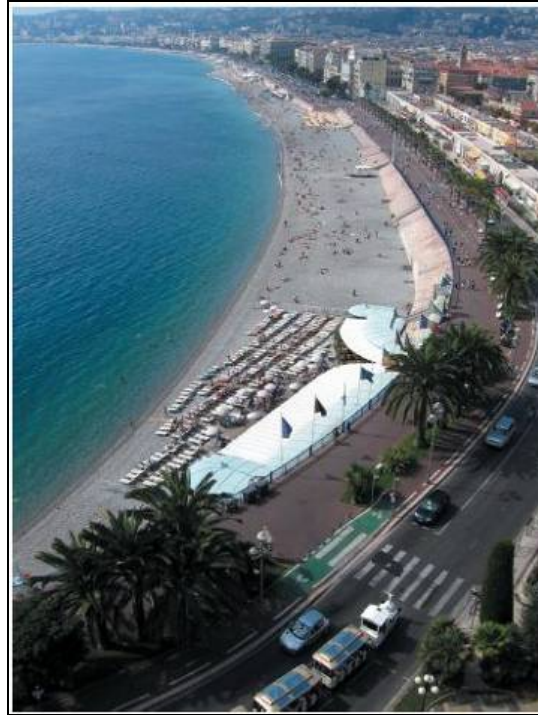


Figure 35 : La plage des Ponchettes vue depuis la tour Bellanda (Cliché : S. Robert , le 22 septembre 2007).

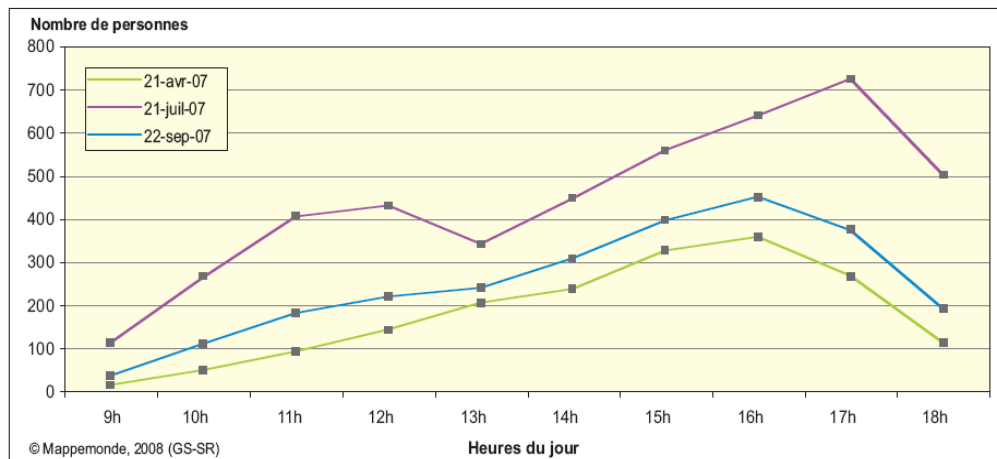


Figure 36 : Evolution le long d'une journée du nombre des personnes sur la plage des Ponchettes à Nice pour trois jours différents (extrait de Robert et al. 2008).

Pour les zones d'occupation modérée et faible, l'estimation de la densité s'appuie sur les données obtenues par le CNRS. Pour une occupation modérée, la valeur de 1 personne/100m² a été retenue, elle est proche de celle trouvée pour un jour d'été à 9

heures du matin. La valeur pour une zone d'occupation faible a été considérée égale à 0,1 personne/100m², valeur inférieure à l'occupation de la plage des Ponchettes un jour d'avril à 9 heures du matin (0,2 personne/100m²).

Occupation (15 aout, 15h)		Nombre de personnes / 100m ²
Occupation forte	Plage en centre historique ou centre-ville	8
	Plage en zone excentrée, promenade, port	4
Occupation modérée		1
Occupation faible		0,1

Tableau 10 : Estimation du nombre de personnes à l'extérieur par 100m² pour les 3 classes de zones de fréquentation, inspiré des données de l'étude du CNRS (Robert et al. 2008).

En ce qui concerne l'occupation de ces zones en hiver ou pendant la nuit, il existe aucune étude de fréquentation des plages. Comme première approximation, on prend les valeurs de population estimée en 1^{ère} ligne de mer faite par le CRT (Monfort et al. 2011) pour un jour d'hiver (10-01) et on obtient une densité de personnes (cf. tableau 10), considérant que cette densité sera identique sur toute la commune et que 30% de la population qui se situe en 1^{ère} ligne de mer est en plein air.

Commune	Personnes/100m ² le 10 janvier l'après-midi
ANTIBES	0.09
VILLENEUVE-LOUBET	0.108

Tableau 11 : densité de population pour les secteurs extérieurs (10-1 à 15h).

Population à l'intérieur

L'estimation du nombre de personnes par bâtiment est faite à partir des données du projet RATCOM, où un ratio de personnes/100m² de surface habitable est déterminé.

Commune	Population résidents + vacanciers le 15/8	Ratio hab/100m ²	Population résidents + vacanciers le 10/1	Ratio hab/100m ²
ANTIBES	169 000	1.84	83 253	0.91
VILLENEUVE-LOUBET	23 078	2.99	14 949	1.94

Tableau 12 : ratios de population à l'intérieur des immeubles pendant l'hiver et l'été.

3.3.3. Bâtiments

Les secteurs bâtis en centre-ville d'Antibes, Juan-les-Pins et Villeneuve-Loubet présentent des bâtiments d'habitat collectif (avec plusieurs étages) avec très souvent des commerces au RDC, devenant ainsi des bâtiments de type 1. En fonction de l'ancienneté, ces bâtiments seront en maçonnerie ou en structure de béton armé.

La zone du Cap d'Antibes et les lotissements au nord de la commune d'Antibes sont généralement des bâtiments à 2 niveaux (type 2), même si quelque fois on peut y trouver des bâtiments à un seul niveau (type 4).

Au cœur de la station de Juan-les-Pins on trouve de nombreuses installations (restaurants, terrasses, plagistes) sur la plage ou sur la promenade (type 3). Ces constructions sont faites avec des matériaux très légers et ne sont toujours pas identifiées dans la BD topo et doivent être identifiées à partir des images aériennes.



Figure 37: Exemple de bâtiment d'habitat collectif avec des nombreux commerces au RDC à Juan les Pins (type 1). Extrait de Google Street View ©



Figure 38: Exemple de maison individuelle d'un seul niveau (type 4) au nord d'Antibes. Extrait de Google Street View ©.



Figure 39 : Exemple de terrasse (type 3) en bord de mer à Juan les Pins. Extrait de Google Street View ©.

3.3.4. Ports

Un travail de recueil de données sur les Ports situés dans le secteur a été fait dans le cadre de RATCOM. Il a permis de collecter des informations sur :

- le nom du port (qu'il s'agisse d'un port privé ou non, géré par la CCI, la commune ou autre) ;
- sa capacité d'accueil (et la taille des bateaux pouvant s'y garer) ;
- son taux de remplissage saisonnier (généralement de 100% été comme hiver à part quelques exceptions).

Tableau 13 : liste des ports, capacités et profondeurs des ports d'Antibes et Villeneuve-Loubet.

Nom	Commune	Nombre de places	Profondeur moyenne (m)	Profondeur max (m)	Profondeur min (m)
Port Vauban	Antibes	1800	2 à 4	8	2
La Gallice	Antibes	526	2.5	3	2
La Salis	Antibes	150	1,2 – 1,3		
Port des Croutons	Antibes	390	1,5 – 1,6	2	1
Port Olivette	Antibes	45			
Marina Baie des Anges	Villeneuve-Loubet	530	3 à 4	5	2

3.3.5. Parkings

Les contacts pris auprès des mairies et des sociétés privées (telle que Q-Park) ont permis de géo-référencer les parkings en y associant le nombre de niveaux, la superficie et la profondeur maximale.

L'accent a été mis sur les parkings souterrains, inondables mais les parkings aériens ont également été géoréférencés pour permettre d'identifier des sites où la présence de véhicules peut être importante.

3.4. ENSEMBLE DU LITTORAL

Outre les trois sites pilotes retenus, dans le cadre du projet ALDES une évaluation du risque sur l'ensemble de côte méditerranéenne française est prévue. Cette évaluation reposera sur les résultats des scénarios de risque sur les 3 sites pilotes, sur la cartographie de la typologie côtière, sur l'aléa régional et sur un critère qui pondère la fréquentation des berges.

Un premier pas a été d'estimer à un niveau communal le poids du tourisme et l'intensité de la fréquentation des berges pendant l'été (pleine saison touristique) et pendant l'hiver (hors saison). Le critère retenu est un ratio entre la population totale d'une commune (résidente et vacanciers l'été, résidente seulement l'hiver) et la longueur totale de côte « fréquentable » (hors falaises, rochers, etc.), nommé **ratio de pression touristique sur le littoral**.

Cette population totale est déterminée comme la population du recensement INSEE 2006 (dite résidente) plus une moyenne de 3 personnes par logement secondaire ou vacant (estimation grossière de la population de vacanciers).

L'application de ce ratio sur l'ensemble des communes du littoral méditerranéen montre les résultats Suivants :

- Les valeurs basses correspondent à des communes :
 - o Très rurales et peu touristiques, comme certaines de la Corse.
 - o Des communes avec une population considérable mais avec une longueur de plages très importante (exemple d'Hyères).
- Les valeurs les plus fortes sont :
 - o Pour les villes très importantes en population (exemples de Nice ou Marseille)
 - o Pour des villes où une grande partie de la population serait concentrée sur une plage de taille limitée.

Certaines villes présentent une grande différence de la valeur du ratio calculé pendant l'été ou pendant l'hiver. Il s'agit de villes ou villages avec un taux très important de logements secondaires ou vacants (exemple d'Agde).

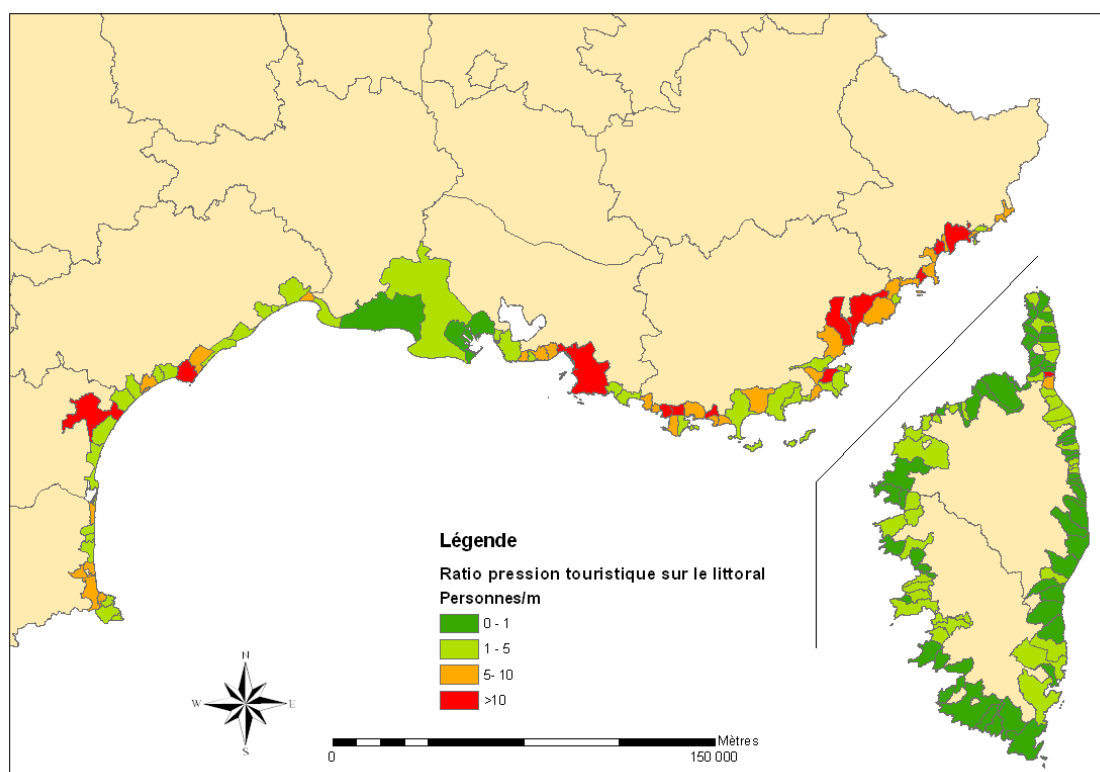


Figure 40 : Carte des ratios de pression touristique sur le littoral pendant l'été (Ici le ratio prend en compte la population totale (résidents et vacanciers)).

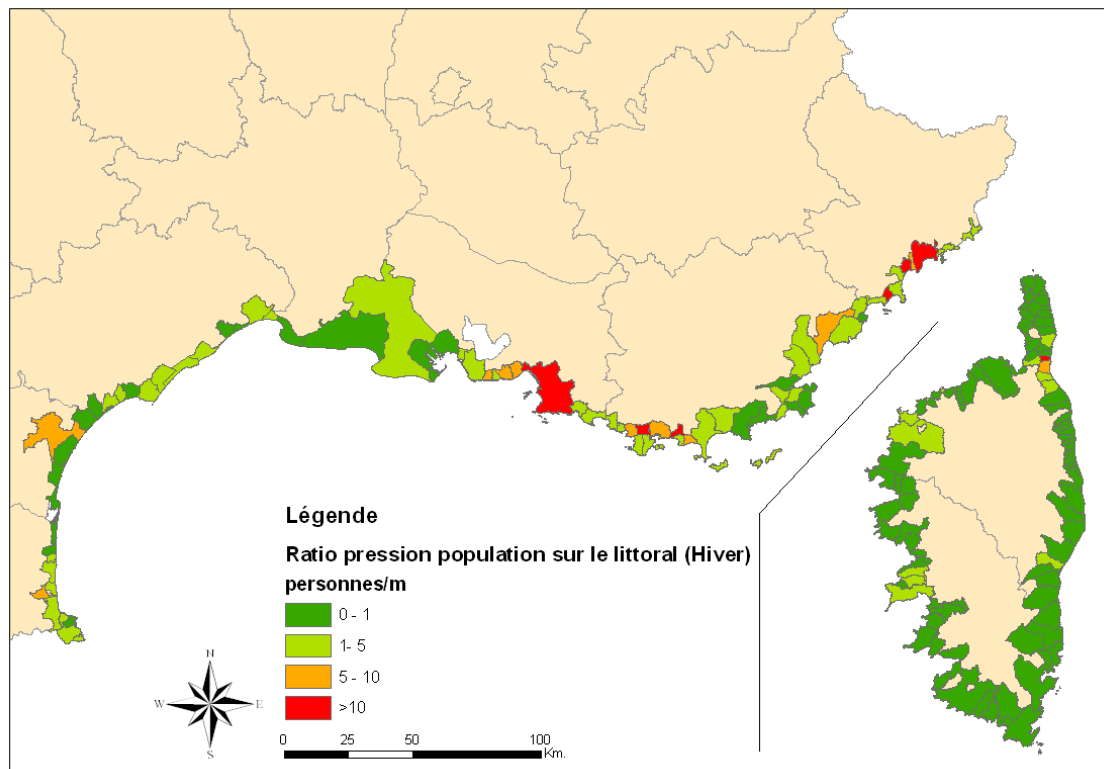


Figure 41 : Carte des ratios de pression touristique sur le littoral pendant l'hiver. (Dans cette carte le ratio prend en compte que les résidents (population hivernale)).

4. Conclusion

Les trois sites pilotes retenus dans le cadre de ALDES ont fait l'objet d'une recherche et d'une structuration des enjeux suivant la méthode d'évaluation de la vulnérabilité aux tsunamis développée récemment dans le cadre du projet de recherche RATCOM.

Les enjeux concernent : la densité de la population suivant différents secteurs côtiers et en période estivale ou hivernale, la typologie et répartition des habitations, la fréquentation des ports de plaisance ou de pêche.

Ces informations sont des estimations moyennes.

La phase WP5 de ALDES concerne la simulation de scénario de tsunami sur chacun des trois sites. Les estimations de dommages et préjudices humains suivant la méthode RATCOM devraient donner des évaluations de dommages indicatives utiles pour l'évaluation des zones à risque au niveau du littoral méditerranéen français.

5. Bibliographie

Bloc Marine 2010. Edicions Grafocarte.

Dall'Osso, F.; Cavalletti, A.; Polo, P. (2006). Risk assessment and evaluation ArcGIS® toolbox: user's manual - coastal risk analysis of tsunamis and environmental remediation. ADPC – Italy government.

Dolle C., Rocher A, Schneider M. et Dormois R. (2000). Fréquentation touristique des plages : Etudes de clientèles. AFIT.

Garcin M., Prame B., Attanayake N., De Silva U., Desprats J.F., Fernando S., Fontaine M., Idier D., Lenotre N., Pedreros R. et Siriwardana C. (2007). Geographic Information Systems for Coastal Hazards – Application to a pilot zone in Sri Lanka. Rapport BRGM 55553.

Geosciences Consultants (2009). Deliverable D1.3 Lessons learnt from Asia test sites. Projet SCHEMA.

Guillande R.; Valencia N. et Gardi A. (2009). Uncertainties in modelling and damage assessment of tsunami risk, implications for crisis management (FP6 SCHEMA project). Poster à Seismic Risk in Moderate Seismicity areas, Aix en Provence, juillet 2009.

Jouvin P. (2008). La Mission racine (1963-1983) et 45 ans d'aménagement du littoral languedocien. Séminaire des Sites et Paysages – 25, 26, 27Juin 2008

Kelman I. (2002). *Physical Flood Vulnerability of Residential Properties in Coastal, Eastern England*. Thèse, Université de Cambridge.

Koshimura S., Katada T., Mofield H.O. et Kawata Y. (2006) - A method for estimating casualties due to the tsunami inundation flow. *Nat Hazards* (2006) 39:265–274.

Monfort Climent D. et Terrier M. (2010) – Projet ALDES : synthèse de typologie de la côte méditerranéenne française. Rapport BRGM/RP-58516-FR, 42, 29, 1.

D. Monfort Climent, M. Terrier, O. Sedan & N. Marçot (2011) – Projet RATCOM - Méthode d'évaluation de la vulnérabilité et du risque sismique en Méditerranée occidentale.

Papathoma M., Dominey-Howes (2003). Tsunami vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2003) 3: 733-747.

Papathoma M., Dominey-Howes D., Zong Y. et Smith D. (2003) - Assessing tsunami vulnerability, an example from Herakleio, Crete. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2003) 3: 377–389

Peiris N. (2006). Vulnerability functions for tsunami loss estimation. First European conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), Geneva, Switzerland, Paper number 1121.

Proenza B. (2006). Tsunami, el peligro olvidado, the forgotten danger. A Risk-to-Life Assessment: The Very High Caribbean Risk. Présentation journées UNESCO IOC/ICG Caribbean Tsunamis San Juan, Puerto Rico, 11/29-30/06.

Robert S., Sillère G. et Liziard S. (2008). Évaluer et représenter le nombre d'utilisateurs sur une plage urbaine (Les Ponchettes, Nice).
<http://mappemonde.mgm.fr/num19/articles/art08305.html>

Sagnes J. (2001). L'aménagement touristique de la côte du golfe de Lion. *Deux siècles de tourisme en France*. Presses universitaires de Perpignan.

Sugimoto T., Murakami H., Kozuki Y. Niskikawa K et Shimada T. (2003). A Human Damage Prediction Method for Tsunami Disasters Incorporating Evacuation Activities. *Natural Hazards* 29: 585–600.

Sites Internet

Office de tourisme de Bandol (2009). Bandol, guide touristique.
<http://tourisme.bandol.fr/IMG/pdf/BANDOLGP09WEB.pdf>

Office de tourisme de Leucate

<http://www.tourisme-leucate.fr/accueil/bienvenue-a-leucate/les-plages.aspx>

autre : <http://fr.wikipedia.org>



Centre scientifique et technique
Service Risques Naturels et Sécurité du stockage de C02
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34