



**HAL**  
open science

## Évolution des côtes françaises au rythme des mouvements verticaux

Pol Guennoc, Nicole Lenotre

► **To cite this version:**

Pol Guennoc, Nicole Lenotre. Évolution des côtes françaises au rythme des mouvements verticaux. Géosciences, 2009, 9, p. 46-55. hal-00520845

**HAL Id: hal-00520845**

**<https://brgm.hal.science/hal-00520845>**

Submitted on 24 Sep 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



La diversité dans la nature et la morphologie des côtes françaises résulte d'une combinaison de processus géologiques variés sur des périodes anciennes, très récentes et bien sûr actuelles. Parmi ces processus, les mouvements verticaux ont un rôle non négligeable sur la sensibilité plus ou moins grande des côtes à l'élévation du niveau de la mer et peuvent influencer sur les risques liés à l'érosion et à l'occupation humaine du littoral.

**Falaise soumise à l'érosion – Criel-sur-Mer (Haute Normandie)**  
*A cliff subjected to erosion – Criel-sur-Mer (the Haute Normandie region).*

BRGM Im@gé, T. Dewez



# Évolution des côtes françaises au rythme des mouvements verticaux



**Pol Guennoc**

DIRECTION DE LA RECHERCHE  
BRGM  
p.guennoc@brgm.fr

**Nicole Lenôtre**

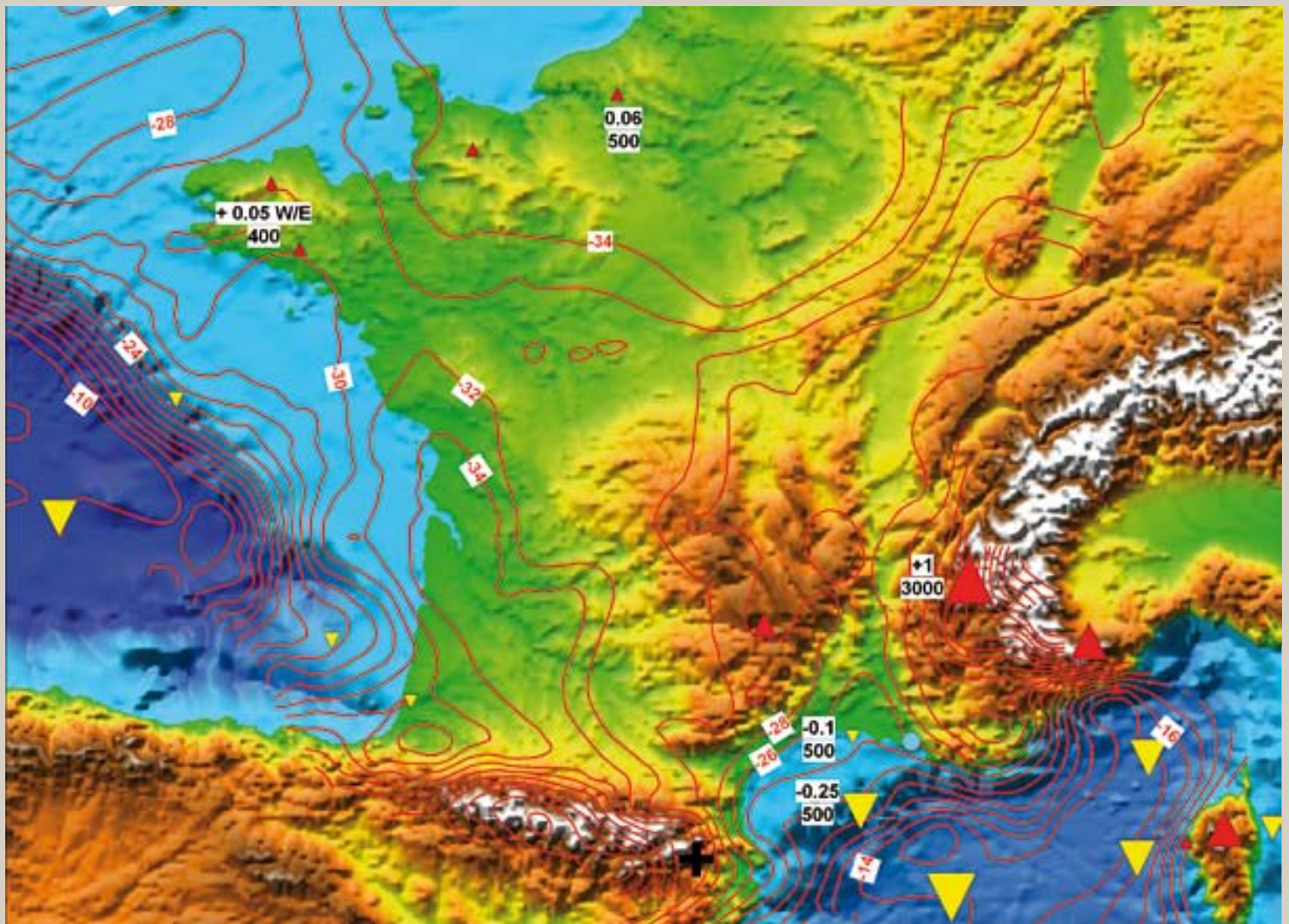
SERVICE AMÉNAGEMENT  
ET RISQUES NATURELS  
BRGM  
n.lenotre@brgm.fr

Les côtes expriment la position relative de deux interfaces : la surface de la lithosphère continentale et celle de la mer, dont les rythmes d'évolution verticale sont différents tout en étant liés. La position des côtes françaises est définie par les fluctuations des niveaux marins sur des marges passives dont la morphologie et les mouvements verticaux dépendent d'évolutions géodynamiques anciennes à récentes, de phénomènes tectoniques locaux ou régionaux et des déformations lithosphériques de grande longueur d'onde.

Au Quaternaire, les changements climatiques importants et à plus haute fréquence avec l'alternance relativement rapide de périodes glaciaires et interglaciaires, se sont traduits par une succession de bas et hauts niveaux marins qui ont profondément modifié les phénomènes d'érosion et de sédimentation, les reliefs émergés et bien sûr les positions et formes des rivages.

L'installation de grands glaciers, puis leur fonte en période interglaciaire, ont parallèlement conduit à des ajustements et des déformations à large échelle de la lithosphère continentale. Ces différents mouvements sont en constante évolution à l'échelle géologique et se poursuivent actuellement. Leur compréhension implique de prendre en considération





des domaines bien plus vastes que les zones côtières et des causes parfois lointaines.

### Évolution des marges, contraintes géodynamiques et tectoniques récentes à actuelles

La nature et la position des côtes sont contrôlées par la physiographie<sup>(1)</sup> des marges, régie par des contraintes liées à l'évolution géodynamique des continents et des domaines océaniques adjacents sur plusieurs dizaines de millions d'années.

Les larges plates-formes et les domaines adjacents du nord et de l'ouest de la France (figure 1) sont nés de la formation du rift de la mer du Nord et du domaine océanique du Golfe de Gascogne il y a plus de 100 millions d'années. Les orogènes pyrénéens puis alpins ont

(1) Physiographie : partie de la géographie qui traite du relief et de certains phénomènes naturels tels que courants marins, variations atmosphériques, etc.

ensuite provoqué des déformations à grande longueur d'onde et réactivé des fractures. Aujourd'hui, les déformations sont modérées mais ces régions restent soumises aux contraintes compressives alpines, comme en témoigne une sismicité largement distribuée. La subsidence est limitée aux domaines du large ou au sud de l'Aquitaine. Les régions côtières et plates-formes proches sont stables ou en exhaussement.

En Méditerranée, la création des marges puis l'ouverture du bassin liguro-provençal entre 30 et 15 Ma se sont réalisées dans un contexte global de rapprochement continu de l'Afrique et de l'Eurasie. Depuis 10 millions d'années les mouvements compressifs ont repris un rôle important comme en témoignent le soulèvement de la marge de la Côte d'Azur et l'importante sismicité au pied de celle-ci. Les côtes méditerranéennes sont bordées de plates-formes étroites à l'exception de celles du Golfe du Lion et de l'est de la Corse (figure 1). Simultanément les

**Fig. 1 : Topographie terre-mer de la France et de ses marges et de sa profondeur de la limite croûte-manteau (en km). Principales zones en soulèvement (triangles rouges), stables (ex. Marseille, cercle bleu) ou en subsidence (triangles jaunes) et valeurs moyennes de déformation verticale (en mm/an) et période considérée (x 1000 ans).**

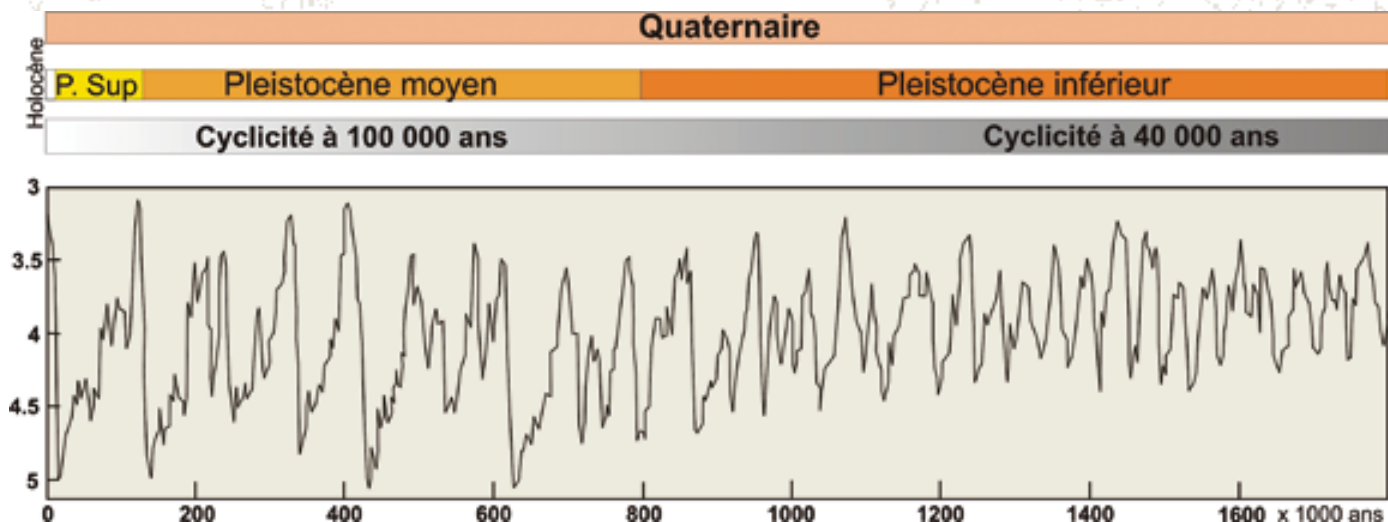
Source : MNT mondial ETOPO2 – Compilation P. Guennoc

*Fig. 1: Land and submarine topography of France and its margins, and depth of the crust/mantle discontinuity in km (red lines). Main uplifting (red triangles) and subsident areas (yellow triangles), stable zones (i.e. Marseille, blue circle), mean values of vertical deformation (in mm/yr) and duration of the period under consideration (in thousands of years).*

Source : ETOPO2 worldwide digital elevation model (DEM) – Compilation by P. Guennoc.



## ÉVOLUTION DES CÔTES FRANÇAISES AU RYTHME DES MOUVEMENTS VERTICAUX



arrière-pays se soulèvent (Corse nord-occidentale, Alpes du Sud, Pyrénées orientales). Les régions côtières représentent donc des zones « pivot » entre un domaine océanique en subsidence et un domaine continental en surrection. Dans le Golfe du Lion, à croûte continentale amincie, la subsidence a été continue et particulièrement forte au Quaternaire notamment en raison de la surcharge d'apports sédimentaires des fleuves alpins (Rhône, Durance, etc).

Cette succession d'événements, et la réactivation de structures parfois anciennes, ont conduit à la juxtaposition de domaines physiographiques variés sur lesquels se surimposent les modifications liées aux changements climatiques quaternaires.

### Variations climatiques pléistocènes

La variation des paramètres orbitaux de la Terre a provoqué depuis près de 2,5 millions d'années une variation cyclique marquée du climat. Au Pléistocène moyen (900 000 ans) la durée de ces cycles est passée de 40 000 ans à 100 000 ans (*figure 2*) avec une augmentation de leur amplitude, générant une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires et de fortes modifications du niveau marin (jusqu'à -100 m et plus par rapport à l'actuel), des phénomènes d'érosion et de sédimentation, et en conséquence de profondes variations de la position des rivages.

Les changements climatiques, les baisses et remontées successives importantes du niveau global de la mer (variation eustatique), et les mouvements isostatiques ont profondément modifié et accentué les phénomènes d'érosion-sédimentation. Pendant les périodes glaciaires les reliefs ont été massivement érodés, et les cours d'eaux ont entaillé profondément leur lit, y compris à

terre et sous les plates-formes actuelles, pour atteindre le niveau de base (niveau marin) très bas en période glaciaire.

Au cours du Quaternaire, les régions côtières ont donc été soumises à une succession d'actions complexes liées aux mouvements glacio-hydro-isostatiques (*voir encadré*), aux éventuels mouvements tectoniques plus faibles mais continus, aux variations du niveau de la mer (eustatisme), et aux actions des vagues et de la houle très importantes lors de tempêtes (*photo 2*). Ces différents phénomènes engendrent des processus d'érosion et de sédimentation très actifs.



▲ **Photo 2 : Tempête du 14 mai 2002 à Cap Breton (Landes).**

*Photo 2: Effects of the storm of 14 May 2002 in Cap Breton (Landes Department).*

© C. Mallet

▲ **Fig. 2 : Changements climatiques quaternaires d'après les variations d'isotopes de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$  ‰) : passage des cycles de 40 000 ans aux cycles de 100 000 ans (d'après Toucanne, 2008).**

*Fig. 2: Quaternary climate changes from oxygen isotopes' variations: shift from 40,000-year cycles to 100,000-year ones (in Toucanne, 2008).*

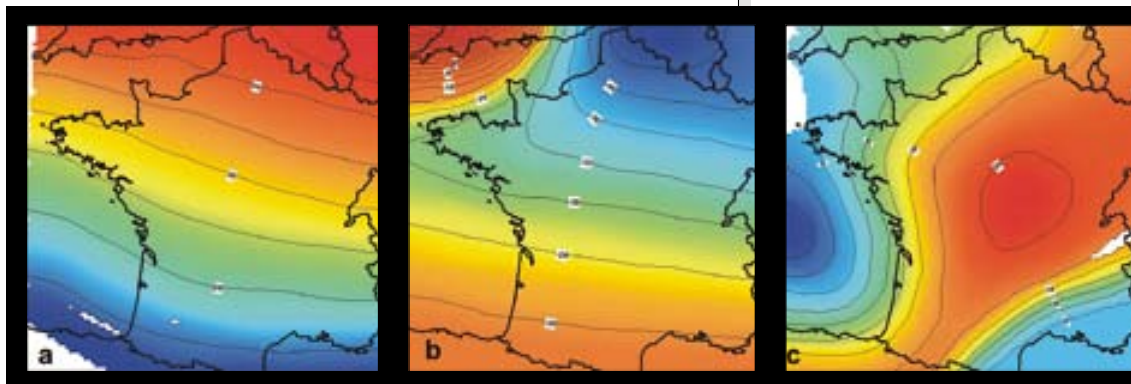


## ► GLACIO – HYDRO – ISOSTASIE

La formation des grands glaciers engendre par son poids un enfoncement de la lithosphère locale ainsi que des déformations périphériques : dépression et bombement.

L'extension et l'amplitude de ces déformations (glacio-isostasie) sont fonction des volumes et des surfaces des glaciers, de l'éloignement des régions considérées et des propriétés locales de la lithosphère et du manteau (épaisseur élastique, viscosité) qui contrôlent les transferts de masse dans le manteau sous-lithosphérique en réponse aux surcharges.

Les déformations et mouvements verticaux liés aux déplacements des masses d'eau (hydro-isostasie) peuvent, selon les régions, augmenter ou diminuer ceux de l'isostasie glaciaire. Les zones côtières subsissent, du fait de la rigidité flexurale de la lithosphère, les effets des déplacements de masse d'eau sur les plates-formes et domaines océaniques proches.



Lors des alternances des périodes glaciaires – interglaciaires, les mouvements verticaux au niveau d'une région considérée représentent donc la somme algébrique de ces déformations auxquelles s'ajoutent les déformations tectoniques régionales ou locales (subsidence ou soulèvement) souvent faibles, voire négligeables pour les périodes de temps courtes.

Les déformations dans le temps peuvent être modélisées sur la base

des contributions des différentes masses glaciaires en fonction de leurs contours et épaisseurs et des propriétés rhéologiques du manteau et de la lithosphère (figure 3).

La comparaison avec les témoins connus de niveau marin à certaines époques dans diverses régions permettent d'identifier des mouvements verticaux pour les régions côtières (pour les côtes françaises cf. Lambeck, 1997 ; Lambeck et Bard, 2000). ■

▲ **Fig. 3 : Amplitudes calculées des différentes composantes de déformations isostatiques liées aux calottes glaciaires de l'hémisphère nord il y a 18 000 ans (Lambeck, 1997)**

**a : composante liée à la rigidité de la lithosphère**

**b : composante glacioisostatique**

**c : composante hydroisostatique.**

Fig. 3: Calculated amplitudes for the different components of isostatic deformations related to ice caps in the northern hemisphere 18,000 years ago (Lambeck, 1997)  
a: component associated with lithospheric rigidity  
b: glacioisostatic component  
c: hydroisostatic component.

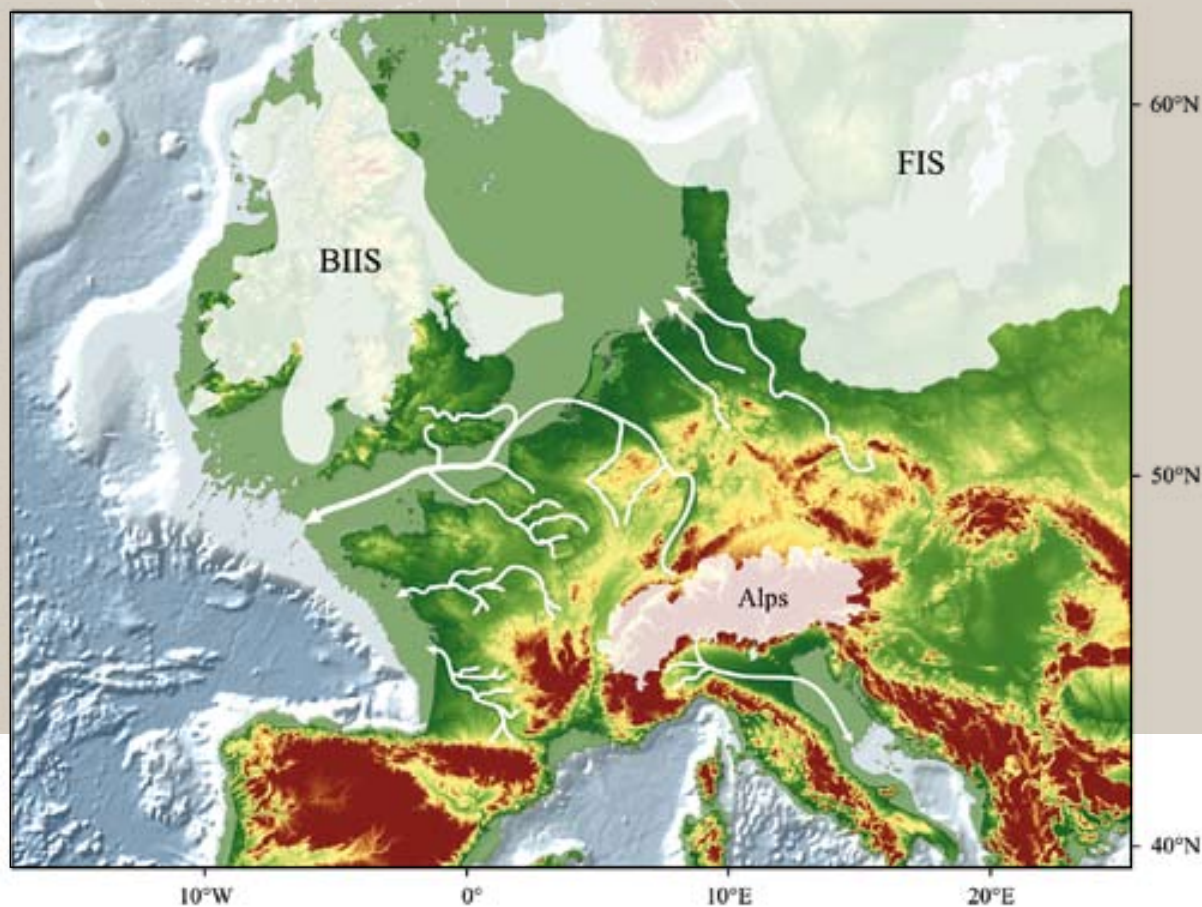
Les « marqueurs » disponibles qui permettraient de faire le bilan de ces déformations sont rares sur une large partie des côtes françaises, du fait des érosions importantes précitées dans les régions en soulèvement ou très peu subsidentes.

L'analyse des incisions fluviales successives liées aux bas niveaux marins en Normandie permet de définir un soulèvement lent mais assez homogène d'environ 60 mètres depuis 1 million d'années, soit un taux moyen de 0,06 mm/an (qui intègre donc l'ensemble des mouvements successifs isostatiques et tectoniques). Un tel soulèvement est confirmé par la position surélevée d'anciennes plages dans le Cotentin.

Ce soulèvement moyen a été observé pour de nombreux fleuves, et la comparaison à l'échelle mondiale des dispositifs de terrasses a conduit à proposer un soulèvement lié à la glacio-hydro-isostasie et à la tectonique. Des déformations différentielles sont cependant constatées au sein d'une même région : en Bretagne, les incisions de différents bassins versants témoignent d'un soulèvement

différentiel de la partie ouest du Massif armoricain de 30 mètres depuis 500 à 700 000 ans, soit 0,04 à 0,06 mm/an par rapport au domaine situé à l'est d'une ligne Saint-Brieuc-Nantes [Bonnet *et al* (2000)]. Ces fractures anciennes (accident Quessoy/Nord sur Erdre) contrôlent les limites du bloc armoricain occidental en soulèvement.

En Méditerranée occidentale, l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires a aussi profondément marqué l'évolution des marges par l'érosion des reliefs montagneux et les apports très importants en sédiments sur les plates-formes et dans les bassins océaniques. La subsidence de la marge languedocienne est par ailleurs attestée par l'importance des dépôts sédimentaires récents sous forme de prismes sédimentaires : le taux moyen de subsidence de la marge au Pléistocène supérieur (depuis 500 000 ans) incluant la surcharge sédimentaire a été évalué à 0,25 mm/an sur la plate-forme externe et à moins de 0,1 mm/an à proximité des côtes. A titre de comparaison, l'élévation des Alpes au niveau du Mont Blanc a été évaluée à un peu plus de 1 mm/an depuis 3 millions d'années.



**Fig. 4 : Extension des glaciers du nord de l'Europe et alpins et des régions émergées lors du dernier maximum glaciaire (ca -20 000 ans) (in Toucanne, 2008). BIIS = British and Irish Ice Sheets FIS = Fennoscandian Ice Sheet**

*Fig. 4: Extension of glaciers in northern Europe and in the Alps and land areas during the last glacial minimum (ca. -20,000 yrs) (in Toucanne, 2008).*

## La dernière glaciation et l'inter-glaciaire actuel depuis 100 000 ans

La dernière glaciation a débuté il y a 100 000 ans pour atteindre son maximum il y a 20 000 ans. Le niveau de la mer est alors descendu de 120 m par rapport au niveau actuel. Les plates-formes étaient alors largement émergées et la Manche était « à sec » (figure 4).

Les témoins de cet abaissement du niveau de la mer sont aujourd'hui souvent submergés : paléo-vallées fluviales comblées ou non, dépressions karstiques (dolines) sur les plates-formes calcaires (anciens « causses » maintenant submergés). Les stationnements de la mer lors de la remontée (anciennes lignes de rivage) sont repérés à différentes profondeurs sous forme d'anciens cordons littoraux, le plus souvent sableux, de replats, des encoches d'abrasions marines, des constructions algaires ou récifales. Les marqueurs les plus utilisés sont les tourbes littorales témoignant de la proximité du rivage à un moment donné et qu'il est possible de dater (<sup>14</sup>C, pollens) afin de reconstituer la « courbe de variation du niveau marin ».

Les marqueurs de la remontée du niveau marin le long des côtes françaises lors de la dernière déglaciation révèlent des différences d'altitude, interprétées comme des oscilla-

tions limitées du niveau marin durant la remontée. Cependant, le calcul des variations locales à partir des modèles de déformation glacio-hydro-isostatiques a montré qu'une courbe plus constante, avec néanmoins des périodes d'accélération de la remontée du niveau marin, pouvait être reconstituée. Ils démontrent aussi la limite spatiale restreinte de corrélation entre marqueurs si on ne les corrige pas à l'aide de déformations isostatiques très variables d'un secteur à l'autre. La différence de déformation résultant de ces diverses composantes aurait atteint 20 mètres il y a 12 000 ans BP, et 10 mètres il y a 8 000 ans BP, le long des côtes atlantiques [Lambeck (1997)].

Au sud de la mer du Nord, les marqueurs de niveaux littoraux, mieux préservés dans cette région plus subsidente, confirment l'existence d'un affaissement, de près de 7,5 mètres depuis 8 000 ans, du nord de l'Allemagne par rapport à la Belgique. Il est associé à la poursuite de l'effondrement du bombement frontal périglaciaire.

Si la vitesse de remontée du niveau marin (eustatisme) en début de période post-glaciaire et de fonte massive des glaces (10-15 mm/an) est très supérieure aux vitesses de déformation isostatique (de l'ordre du mm/an), les déformations isostatiques deviennent significatives,





## ► THE LAGOON OF VENICE : EVOLUTION AND LAND SUBSIDENCE

Antonio Brambati – Head of the Department of Geological, Marine and Environmental Sciences –  
Professor of Sedimentology – University of Trieste – brammati@units.it

The Lagoon of Venice is the largest such structure on the Mediterranean Sea. It formed in 6-7 kyr BP, dominating the Würmian (latest glaciation) Po paleoplain, which influenced its original morphology. The basin's subsequent evolution has been characterized by different phases. During the post-glacial high-stand sea level, a significant role was played by the alluvial yield, which was not counterbalanced by both sea level rise and subsidence, causing the basin to fill in and progradation of the river mouths. In historical times, various forms of human intervention, including the diversion of tributaries and, more recently, a sharp increase in groundwater exploitation, have reversed the natural evolutionary trend, favouring the deepening of the lagoon and substantially modifying the morphological setting of the environment. Natural subsidence ranged between 0.5 and 1.3 mm/yr during the

Quaternary, but man-induced subsidence processes more than doubled over the period 1950-1970. Subsidence is no longer occurring in the central part of the greater Venice area, which includes the city, the Mestre-industrial zone and the surrounding region, but it is still on-going in the lagoon's northern and southern portions as well as in adjoining land. In any event, since subsidence is largely irreversible and a contribution to land lowering versus mean sea level has been provided by eustasy, 23 cm of relative elevation loss occurred during the last century, inducing consequences that require restoration and safeguarding measures. ■

**Référence :** Brambati A., Carbognin L., Quaia T., Teatini P. and Tosi L. (2003) – The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence. Episodes magazine, September 2003, vol. 26, n°3.

**La lagune de Venise,  
un risque d'inondation  
très présent.**

*The Lagoon of Venice,  
a very immediate danger  
of flooding.*

© Fotolia





## ÉVOLUTION DES CÔTES FRANÇAISES AU RYTHME DES MOUVEMENTS VERTICAUX



Photo 3 : Lido (cordon dunaire) entre Les Aresquiers et Frontignan (Hérault)

Photo 3: A lido (dune ridge) between Les Aresquiers and Frontignan (Hérault Department).

© EID

quand cette remontée ralentit. Sur le littoral de la Méditerranée française, la comparaison d'indices de niveaux marins répartis le long des côtes avec les modèles de variations du niveau marin corrigées des effets glacio-hydro-isostatiques montre une relative stabilité du littoral de ces régions durant les derniers millénaires [Lambeck et Bard (2000)]. Une subsidence relative d'environ 1,5 m durant les derniers millénaires de la région du delta du Rhône a pu être confirmée par l'étude des dépôts côtiers [Vella et Provansal (2000)]. La comparaison des altitudes des niveaux de stationnements de la mer faite en plongées a confirmé la stabilité du littoral de Provence et la remontée de celui de la Côte d'Azur. En Corse occidentale, un soulèvement semble également confirmé, avec une position plus élevée des marqueurs de niveaux marins du N au S, et une dénivellation relative de 3 à 7 m sur 70 km [Collina-Girard (2002)].

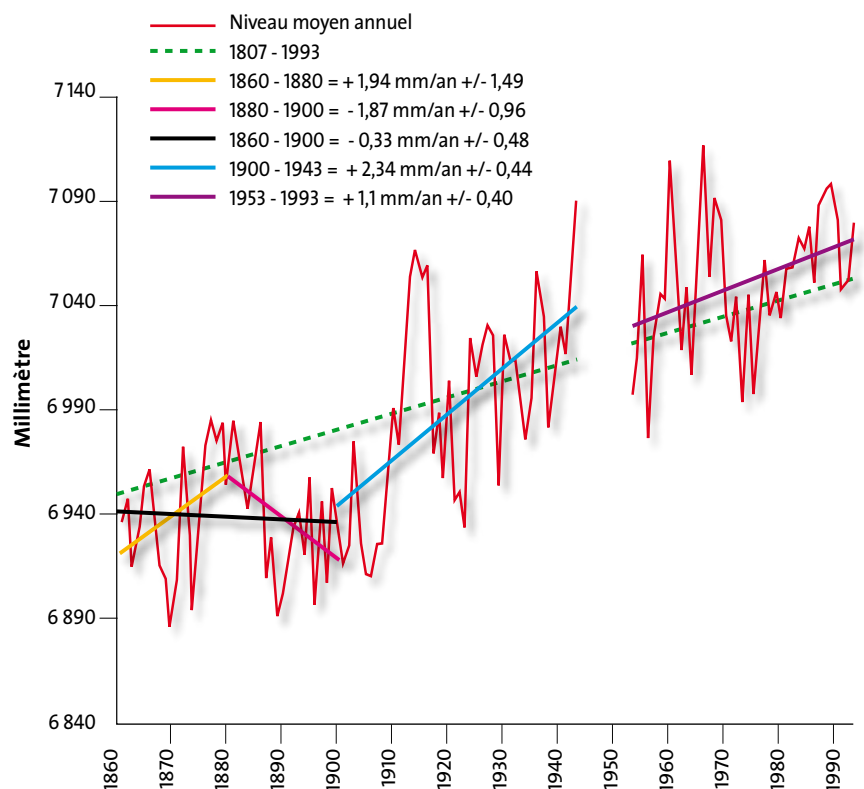


Fig. 5 : Marégraphe - Variation du niveau relatif de la mer au marégraphe de Brest, depuis 1860.

Source : Données PMSML

Fig. 5: Tide gauge - Variation of relative sea level at Brest, since 1860.

Source : PMSML data



“ Les côtes françaises ont à peu près pris leur configuration actuelle il y a 6 000 ans. ”

On estime que les côtes françaises ont à peu près pris leur configuration actuelle il y a 6 000 ans, avec cependant un haut niveau marin de + 2 m il y a 2 000 ans favorisant la formation dans le Languedoc des « lidos », cordons dunaires de faible altitude (*photo 3*).

### Période actuelle

Les variations liées à l'isostasie, à la tectonique et à l'eustatisme se poursuivent dans la période historique et actuellement.

La variation du niveau de la mer peut se mesurer depuis le siècle dernier à partir des enregistrements des marégraphes. Il s'agit d'une variation relative car les marégraphes sont rattachés à la Terre et subissent les mouvements verticaux de l'écorce terrestre. Il est également possible de mesurer l'élévation du niveau de la mer par altimétrie spatiale depuis une quinzaine d'années. Les mouvements verticaux terrestres sont mesurables avec les nivellements réalisés par l'IGN ou par des mesures répétées par GPS très précis, qui sont des techniques prometteuses mais sur une période de mesures trop courte (inf. à 20 ans) pour que le signal sorte de la marge d'erreur car les mouvements verticaux actuels sont de faible ampleur en France métropolitaine.

Les mesures du marégraphe de Brest ont permis d'identifier la variation relative du niveau de la mer à cet endroit (c'est-à-dire la variation absolue du niveau de la mer et les mouvements verticaux de la croûte terrestre). Cette variation relative est en moyenne de 1,23 mm/an +/- 0,08 sur la période 1883 à 1993 avec des fluctuations importantes sur des périodes de temps plus courtes allant même jusqu'à une inversion (*figure 5*) comme en témoignent les mesures du marégraphe dans la période de 1880 à 1900, avec des valeurs de -1,87 mm/an +/- 0,96 indiquant un abaissement du niveau relatif de la mer sur cette période.

Les nivellements de 1er ordre ont été réalisés en 1889 et en 1962. Les techniques de mesures utilisées, ayant une précision analogue sur ces 2 périodes, permettent leur comparaison. On obtient ainsi la variation relative des mouvements verticaux de la croûte terrestre. La carte des vitesses de mouvements verticaux entre ces deux



■ CONSEIL ET EXPERTISE  
■ LABELLISATION ■ ÉDITION

Le label de Grenoble Sciences est attribué à des ouvrages originaux sur des critères de clarté des objectifs et de qualités pédagogique et scientifique.

## GRENOBLE SCIENCES

■ ■ ■ ■ OUVRAGES LABELLISÉS EN SCIENCES DE LA TERRE



**LES ROCHES, MÉMOIRE DU TEMPS**  
de Georges Mascle  
Ouvrage en couleur. Panorama cohérent des moments clés de l'histoire de la Terre.



**HYDROTHERMALISME**  
de M. Chenevoy et M. Piboule  
Ouvrage unique dans l'édition française. Outil de référence sur le thème des processus hydrothermaux.

### POUR COMMANDER LES OUVRAGES LABELLISÉS

Ouvrages en vente en librairie et sur les sites :  
<http://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>  
<http://www.edpsciences.org>

<http://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>

Grenoble Sciences, Université Joseph Fourier,  
BP 53, 38041 Grenoble cedex 9  
Tél. (33)4 76 51 46 95  
Fax. (33)4 76 51 45 79  
Email : Grenoble.Sciences@ujf-grenoble.fr



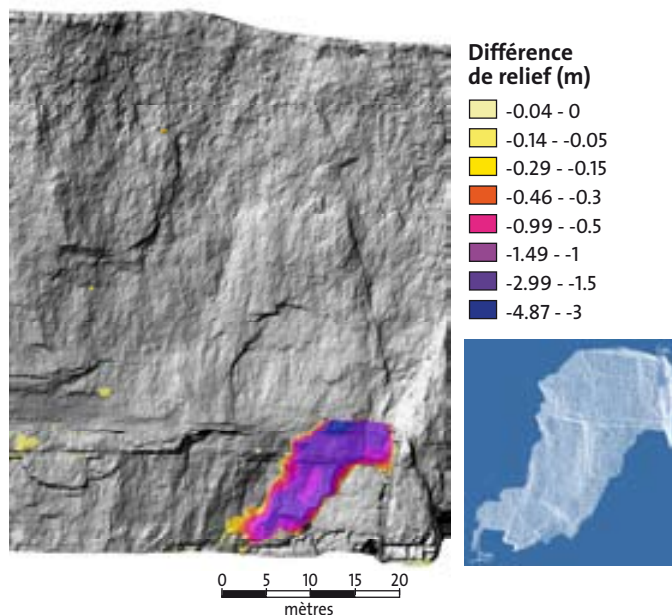
## ► AUSCULTER DES FALAISES CÔTIÈRES AU LASER

Thomas Dewez – Service Aménagement et Risques Naturels, BRGM – t.dewez@brgm.fr

À la limite entre Normandie et Picardie, la falaise littorale de craie de Mesnil Val qui s'érode, est l'objet d'auscultations détaillées depuis plusieurs années. La surface de la falaise est mesurée deux fois par an avec un scanner laser. À chaque campagne de mesure, l'instrument produit une image du relief de la falaise en trois dimensions à très haute résolution (5 cm). Ces images de relief sont comparées pour identifier les zones d'érosion de craie. La précision des mesures est telle qu'on détecte même la disparition de plaquettes de craie aussi fines que 3 cm, détachées par le gel. Ce phénomène est connu de longue date des spécialistes mais n'avait jamais été quantifié sur toute la surface d'une falaise.

L'érosion varie au fil des saisons et au fil des années : faible érosion en été et forte érosion en hiver. Depuis 2005, les quantités de craie érodées ont été multipliées par 10 chaque année, passant de plus de 400 m<sup>3</sup> érodés durant l'hiver 2005-2006 à plus de 50 000 m<sup>3</sup> érodés durant l'hiver 2007-2008. Les images laser donnent également la forme des blocs érodés, avec un degré de détail sans précédent. Les catalogues de blocs constitués permettent de déduire des lois empiriques de l'aléa, qui prédisent la période de retour probable d'éboulements d'une taille donnée. ■

**Bibliographie** : Dewez T., Rohmer J. et Closset, L. (2007) - Laser survey and mechanical modelling of chalky sea cliff collapse in Normandy, France, in Mc Innes R., Jakeways J., Fairbanks H. et Mathie, E., (eds) Landslide and climate change, Taylor and Francis, London, pp. 281-288



▲ **Vue de détail du relief de la falaise de Mesnil Val mesurée par scanner laser. Les blocs qui se sont détachés pendant l'hiver 2005-2006 sont soulignés en couleur. Le bloc de 172 m<sup>3</sup> détaché à cette même période est représenté par les 65 000 points en 3D. Un événement supérieur ou égal à cette taille est susceptible de se produire entre 4 et 6 fois par an.**

*Detail view of the Mesnil Val cliff topography such as measured with a terrestrial laser scanner. Eroded blocs during the winter 2005-2006 are highlighted in colour. The largest one (172 m<sup>3</sup>) is represented by the 65 000 laser points, in 3D view. An event like this one, or larger, is likely to occur between 4 and 6 times per year.*

© T. Dewez

dates (figure 6) montre un accroissement des vitesses de l'est vers l'ouest de la Bretagne, signifiant un soulèvement du Finistère par rapport à la Bretagne centrale, et donne une valeur de 0,7 mm/an + /- 0,25 à Brest sur cette période. Ces valeurs sont locales et ne peuvent pas être régionalisées ni extrapolées dans le temps.

On obtient ainsi à Brest, entre 1889 et 1962, une valeur d'élévation relative du niveau de la mer de 1,8 mm/an fournie par les marégraphes et une surrection de la croûte terrestre de 0,7 mm/an par comparaison de mesures de nivellements, permettant de calculer une variation absolue du niveau de la mer de 2,5 mm/an sur cette période. Ce résultat est cohérent avec les travaux du GIEC (groupe intergouvernemental des experts du climat) de 2007 qui donnent une élévation du niveau moyen global de la mer observé par les marégraphes de  $1,8 \pm 0,3$  mm/an entre 1920 et 2000 avec une accélération de la remontée dans les deux dernières décennies. Les données observées par altimétrie spatiale donnent par ailleurs une augmentation de  $3,3 \pm 0,4$  mm/an en moyenne (avec des fluctuations locales) entre 1993 et 2006.

En Méditerranée la comparaison des mesures marégraphiques a montré la relative stabilité historique et

actuelle du littoral dans la région de Marseille. Dans le delta du Rhône, une subsidence de 1mm/an a pu être calculée (variation totale du niveau marin de 2,1 mm/an).

Associé à cette élévation actuelle du niveau de la mer, on constate à l'échelle de l'Europe, un important phénomène d'érosion du littoral : le projet européen EuroSION ([www.euroSION.org](http://www.euroSION.org)), a permis de quantifier le phénomène d'érosion sur les 22 pays de l'Union ayant un littoral. Ce phénomène touche en moyenne 20 % des pays littoraux. Pour la France c'est 27 % du littoral français qui est affecté de façon variable selon la nature des côtes : 41 % des plages sableuses, 12 % des littoraux vaseux, 23 % des côtes rocheuses mais avec des taux proche de 100 % pour les falaises de roches tendres telles que les falaises de craie de Normandie. C'est très variable d'une région à l'autre (inf. à 10 % en Corse et de l'ordre de 70 % dans le Pas de Calais, la Seine Maritime ou le Gard).

Existe-t'il une accélération de la remontée du niveau de la mer, liée à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, ou s'agit-il d'une fluctuation d'ordre décennale du niveau de la mer ? Les séries temporelles ne sont pas toujours assez longues pour autoriser une conclusion mais les travaux du GIEC (2007) prévoient, à l'horizon 2100, une élévation moyenne du niveau de la mer de

“  
Les  
mouvements  
verticaux  
et leur interface  
avec  
la variation  
du niveau  
de la mer  
le long  
des côtes  
françaises sont  
mal connus.”





### France's coastlines - Evolution shaped by vertical movements

The contour of France's coastlines today represents a "snapshot" of the relative vertical positions of sea level and the continental basement, with these latter evolving independently in some ways and jointly in others. Most coastal regions such as the Channel and the Atlantic have shown relative stability or moderate uplift while near the Mediterranean sea, vertical movements are larger, as narrow margins are of more recent origin, attended by subsidence of deep basins and uplift in the hinterland and some parts of the coast itself.

The middle Pleistocene (900 000 years) has seen the advent of 100,000-year climatic cycles with strong oscillations and sea levels drops exceeding -100 m during glacial periods, determining radical changes in shorelines and relief. Large amounts of water displaced along continental margins and the formation of great glaciers, even far, induced long-wave deformation in the continental lithosphere, large vertical displacements and major changes in sedimentation/erosion processes. While the overall uplift rate in north-west France over this period, estimated from alluvial terraces, is ca. 0.06 mm/yr, it is virtually stable near the Mediterranean sea.

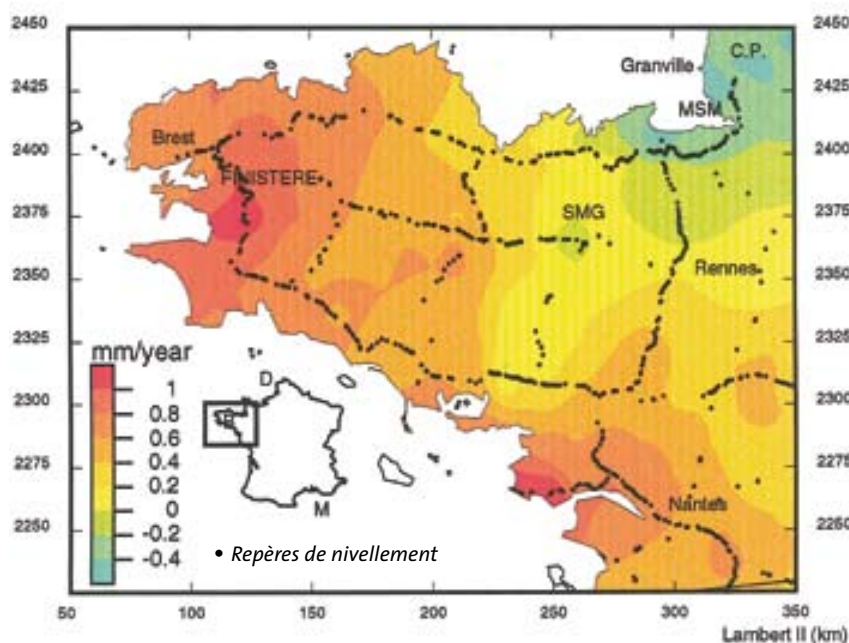
18 à 59 cm, selon les scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre, qui pourrait atteindre 1 m selon certains auteurs. Cette élévation aura des conséquences importantes (érosion, submersion) pour les côtes basses telles que la Camargue, le Languedoc-Roussillon, le Nord Pas de Calais, la partie sud de la Vendée.

Les mouvements de subsidence ou de surrection de l'écorce terrestre qui se poursuivent actuellement, aggraveront ou diminueront localement le phénomène d'élévation du niveau de la mer.

Les mouvements verticaux et leur interface avec la variation du niveau de la mer le long des côtes françaises sont mal connus en raison du faible nombre de marqueurs identifiés et des processus importants d'érosion aérienne ou sous-marine dans les régions majoritairement en léger soulèvement ou stables.

Cependant, la variabilité spatiale des déformations, notamment celles liées aux déformations glacio-hydrostatiques, montre l'importance de gérer cette interface terre-mer en les intégrant aux variations climatiques actuelles du niveau de la mer. Malgré leurs faibles amplitudes (de l'ordre du mm/an), les déformations, et le différentiel de déformation peuvent avoir des conséquences importantes, plus particulièrement pour les côtes basses et fragiles.

Des reconnaissances plus détaillées et des mesures continues sont essentielles pour préciser le rôle et la variabilité des mouvements verticaux dans l'évolution du littoral et pour appréhender les évolutions futures dans cette zone géographique à forts enjeux sociétaux, économiques et environnementaux. ■



◀ **Fig. 6 : Carte des mouvements verticaux actuels par comparaison des nivellements entre 1889 et 1962 (Lenôtre et al, 1999)**  
Fig. 6: Map of present vertical movements by compared levelling data between 1889 and 1962 (Lenôtre et al., 1999).

During the last glacial maximum, 20,000 years ago, with sea level some 120 m lower than it is today, the Channel and large portions of the platforms were exposed. Elevations of the present coastal areas were modified by glacio-istostatic movements. As the glaciers receded, wide-scale melting caused a rapid rise in sea level (eustasy), far exceeding the rates of isostatic deformation. As this rise subsequently slowed, the amplitude of isostatic or tectonic deformations once more gained importance. Vertical movements are still on-going: absolute sea level variation was calculated over the past century by comparing data from tide gauges and levelling surveys on land. At Brest for instance, absolute sea-level rose by 2.5 mm/yr, but the rate varies on other parts of the coast notably due to local uplift or subsidence of the crust.