



Document Non Public

geoprospect

maquette d'un outil de géoprospective

**M. Garcin
S. Courbouleix**

**janvier 1991
R 32 138**

BRGM
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Géologie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France - Tél. : (33) 38.64.34.34





qualité

INFORMATIONS A NOS LECTEURS

Ce document est un rapport du

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

This document is a report of

THE BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Dans une bibliographie, ce document doit être cité de la manière suivante :

GARCIN M., COURBOULEIX S. (1991) - Géoprospect : maquette d'un outil de géoprospective.

Rapport BRGM R 32138, p. 36, Fig. 15.

(auteur, année d'édition, titre, nature et numéro du document, nombre de pages, de figures, de tableaux, de planches, d'annexes).

Le BRGM conserve la propriété intellectuelle de ce document et de ses annexes. La reproduction, la recopie ou la communication intégrales ou partielles de ce document, y compris les annexes, sont soumises à autorisation écrite du BRGM

◦ **BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES**

All rights reserved. This document, including its annexes, may not be reproduced or copied, in any form or by any means whatsoever, or lent, given or communicated in any way whatsoever, in whole or in part, without the prior written consent of the BRGM.

Le contenu de ce document a fait l'objet d'un contrôle technique

Fiche de contrôle

Fiche de lecture

N° du formulaire
AQ0281/AQ106FO

Rapport n°: R 32138 GEO SGN 91

Opération n°: 9304200527

Contrat n°: RS AR 42

RESUME

Géoprospect est la maquette d'un logiciel de visualisation et de traitement de (NMT) Modèles Numériques de Terrain orienté vers les problèmes inhérents à la géologie du Quaternaire et à la géoprospective.

Ce prototype a été réalisé sur compatible PC et gère un MNT (Modèles Numériques de Terrain) mondial au pas de 5 minutes d'arc.

Cette maquette a permis de valider des algorithmes et des modes opératoires concernant notamment les variations eustatiques, les déformations isostatiques et le calcul de cartes thermiques. De nombreuses fonctions de visualisation ont été mises au point afin de valoriser le résultat des calculs précédemment cités.

Le présent rapport illustre l'état d'avancement de ce travail en fin Janvier 1991, soit après un mois de travail effectif.

SOMMAIRE

1 - PRESENTATION.....	9
1.1 - OBJECTIFS	9
1.2 - CONFIGURATION MATERIELLE.....	9
1.3 - LANGAGE DE PROGRAMMATION.....	9
1.4 - BASES DE DONNEES.....	10
2 - REALISATIONS.....	11
2.1 - STRUCTURE ET PRINCIPE ET ERGONOMIE DU LOGICIEL.....	11
2.1.1 - Structure du logiciel.....	11
2.1.2 - Principe et ergonomie.....	11
2.2 - RESTRUCTURATION DE LA BASE DE DONNEES.....	11
2.3 - FONCTIONS DE BASE DE TRAITEMENT DU MNT.....	11
2.3.1 - Changement de couverture géographique.....	12
2.3.2 - Tracé en hypsonométrie	12
2.3.3 - Tracé en ombrage	12
2.3.4 - Courbes de niveau	12
2.3.5 - Tracé des pentes	12
2.3.6 - Tracé d'une coupe	12
2.3.7 - Etagement des couleurs	13
2.3.8 - Affichage des coordonnées d'un point	13
2.3.9 - Changement de base de données.....	13
2.3.10 - Changement de palette de couleurs.....	13
2.4 - FONCTIONS SPECIFIQUES LIEES A LA GEOPROSPECTIVE.....	13
2.4.1 - Visualisation des variations eustatiques.....	13
2.4.2 - Tracé d'une carte thermique	13
2.4.3 - Activation d'un glacier	14
2.4.4 - Définition de la géométrie d'un glacier	14
2.4.5 - Définition de l'épaisseur d'un glacier	14
2.4.6 - Sauvegarde et chargement d'un ensemble de glaciers	14
2.4.7 - Calcul de l'isostasie glaciaire (création d'un MND).....	14
2.4.8 - Addition d'un MNT et d'un MND	15

3 - ILLUSTRATIONS DES RESULTATS	16
3.1 - PRESENTATION DU LOGICIEL.....	16
3.2 - LES VARIATIONS EUSTATIQUES.....	18
3.3 - COUPES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES.....	18
3.4 - ZOOM AVEC REPRESENTATION HYPSONOMETRIQUE ET COURBES DE NIVEAU	18
3.5 - MORPHOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL.....	18
3.6 - CARTE OMBREE.....	26
3.7 - CARTE DES PENTES.....	26
3.8 - CARTE THERMIQUE.....	26
3.9 - MODELE NUMERIQUE DE DEFORMATION ISOSTASIQUE.....	26
3.10 - TOPOGRAPHIE ET BATHYMETRIE APRES CALCUL D'ISOSTASIE GLACIAIRE.....	32
4 - EXEMPLE D'APPLICATION A LA GEOPROSPECTIVE	35
5 - AVERTISSEMENTS, LIMITES ET DEVELOPPEMENTS.....	36

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Présentation du logiciel
- Figure 2 : Simulation d'une baisse du niveau marin de 80 mètres
- Figure 3 : Niveau marin actuel
- Figure 4 : Simulation d'une montée du niveau marin de 50 mètres
- Figure 5 : Coupe topographique
- Figure 6 : Coupe topographique et bathymétrique
- Figure 7 : Zoom avec représentation hypsonométrique de l'altimétrie et courbes de niveau de la bathymétrie
- Figure 8 : Visualisation en hypsonométrie du plateau continental
- Figure 9 : Carte ombrée
- Figure 10 : Carte des pentes : bleu clair pentes < 5%, rouge pentes > 5%
- Figure 11 : Carte thermique théorique en fonction d'une valeur définie par l'utilisateur
- Figure 12 : Calcul d'isostasie glaciaire : enfoncement isotasique
- Figure 13 : Calcul d'isostasie glaciaire : bourrelet isotasique
- Figure 14 : Addition du MNT et de la déformation isotasique avec baisse du niveau marin de 80 mètres (topographie)
- Figure 15 : Addition du MNT et de la déformation isotasique avec baisse du niveau marin de 80 mètres (bathymétrie)

1 - PRESENTATION

1.1 - OBJECTIFS

A l'initiative de S. COURBOULEIX (SGN/GEO), il a été décidé de tester, de démontrer et de valider les possibilités de calcul, d'enchaînement et de visualisation des différents facteurs intervenant lors d'une réflexion géoprospective où une vision globale des phénomènes est nécessaire.

A ce jour, et à titre de test, seules les fonctions générales de visualisations et les fonctions traitant des variations eustatiques, des déformations isostasiques et du gradient thermique ont été développées.

1.2 - CONFIGURATION MATERIELLE

La maquette du logiciel Géoprospect a été développée afin de fonctionner correctement sur tout compatible IBM sous DOS, équipé d'une carte graphique VGA (16 couleurs, 640 Pixels en X, 480 pixels en Y), d'une souris, et d'un disque dur.

1.3 - LANGAGE DE PROGRAMMATION

Cette maquette a été réalisée en Pascal (Turbo Pascal V 5.5, Borland). L'interface utilisateur est une interface personnelle développée auparavant qui possède la caractéristique d'être peu gourmande en place mémoire. Toutes les routines graphiques utilisées ne font appel qu'à des fonctions simples (tracé de lignes, de polygones, de points et définitions d'attributs : couleur, type de ligne etc.) présentent dans les normes graphiques actuellement en vigueur (GKS par exemple) ; cette simplicité assure une possible portabilité sur d'autres systèmes.

Le choix du matériel et du langage pour cette maquette a été guidé par :

- la rapidité du développement (permettant rapidement de valider les concepts et les algorithmes etc.) qui nous semble primordiale dans le cadre d'un maquetage,
- la possibilité d'installer le logiciel sur un ordinateur portable, ou tout autre compatible PC courant (cf. 2.2.1) possédant les caractéristiques techniques décrites précédemment.

1.4 - BASE DE DONNEES

Compte tenu des objectifs que nous nous étions fixés, il nous a paru opportun de posséder une base de données altimétriques et bathymétriques mondiale.

Nous nous sommes procuré la base de données ETOPO5 fournie par NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Boulder COLORADO 80303, USA) qui fournit une valeur bathymétrique ou altimétrique toutes les 5 minutes d'arc ce qui représente environ 9,6 km sous nos latitudes.

Bien qu'assez espacé, le pas apparait comme suffisamment précis pour travailler à l'échelle de l'Europe.

2 - REALISATIONS

2.1 - STRUCTURE, PRINCIPE ET ERGONOMIE DU LOGICIEL

2.1.1 - Structure du logiciel

Le logiciel est structuré en "boîtes" indépendantes, chaque boîte représentant une fonction indépendante ; la liaison entre ces boîtes est assurée par l'interface utilisateur qui joue le rôle de moteur.

2.1.2 - Principe et ergonomie

Toutes les fonctions disponibles sont représentées par un icône les symbolisant ; pour activer une fonction, il suffit de cliquer avec la souris sur l'icône correspondant.

Le clavier n'intervient que lors de la saisie d'un paramètre numérique.

2.2 - RESTRUCTURATION DE LA BASE DE DONNEES

Nous avons fortement restructuré la base de données d'origine (ETOP05) afin notamment de diminuer sa taille (de 76 à 19 MégaOctets), d'augmenter sa souplesse d'utilisation et enfin de réduire les temps d'accès. Cette restructuration nous permet d'envisager l'installation d'un logiciel de ce type sur un micro-ordinateur portable.

A cette base de données initiale, d'autres MNT (Modèle Numérique de Terrain), plus précis, peuvent être associés afin de travailler à une résolution supérieure. Le changement d'échelle et de base de travail s'effectue en cliquant sur l'icône zoom.

2.3 - FONCTIONS DE BASE DE TRAITEMENT DU MNT

Dans un premier temps, nous allons présenter les différentes fonctions unitaires disponibles dans ce prototype afin d'illustrer ses possibilités.

2.3.1. - Changement de couverture géographique

Lors de l'appel du logiciel, une couverture géographique par défaut est chargée.

Pour modifier la zone de travail, deux possibilités existent :

- soit par déplacement de 5 en 5 degrés vers les quatre points cardinaux à l'aide d'icônes symbolisant des flèches,
- soit en donnant la position en latitude et longitude du coin le plus sud-ouest de la zone désirée.

2.3.2 - Tracé en hypsonométrie

Ce tracé permet de visualiser les altitudes d'une région, à chaque tranche d'altitude est affectée une couleur. Les valeurs de ces seuils d'altitude peuvent être modifiées à tout moment.

2.3.3 - Tracé en ombrage

Cette fonction calcule et affiche l'ombrage créé par une source lumineuse fictive sur le relief du Modèle Numérique de Terrain en mémoire.

2.3.4 - Courbes de niveau

Il est possible de surimposer à une carte hypsonométrique ou ombrée une ou plusieurs courbes de niveau d'une altitude (ou d'une profondeur) choisie par l'utilisateur. A titre d'exemple, une des applications est le tracé du trait de cote (altitude 0 mètre) pour rehausser les limites de continents.

2.3.5. - Tracé des pentes

Cette fonction effectue le calcul et l'affichage des pentes en pourcentage sur toute la carte visualisée à l'écran.

2.3.6 - Tracé d'une coupe

Cet outil dessine immédiatement la coupe topographique comprise entre deux points désignés sur la carte à l'aide de la souris.

2.3.7 - Etagement des couleurs

L'étagement des fourchettes de valeurs affectées à une couleur peut être modifié au choix de l'utilisateur, cette fonction n'affecte que les tracés en hypsonométrie, les pentes et les cartes thermiques.

2.3.8 - Affichage des coordonnées d'un point (latitude, longitude, altitude)

En désignant sur l'écran un point quelconque de la couverture géographique on obtient ses coordonnées (latitude et longitude) ainsi que son altitude.

2.3.9 - Changement de base de données (ZOOM)

Cette fonction permet de définir l'utilisation de l'une des bases de données disponible (MNT à différentes résolutions).

2.3.10 - Changement de palette de couleurs

Cet outil permet de changer la palette de couleurs active.

2.4 - FONCTIONS SPECIFIQUES LIEES A LA GEOPROSPECTIVE

2.4.1 - Visualisation des variations eustatiques

Pour simuler une variation du niveau marin, il suffit, à l'aide de la fonction étagement des couleurs, d'affecter à la valeur minimum du seuil, la différence d'altitude du niveau marin par rapport à l'actuel puis de demander un tracé en hypsonométrie.

2.4.2 - Tracé d'une carte thermique

Après désignation d'un point quelconque à l'écran et après avoir renseigné sa température, celle-ci est corrigée en fonction de l'altitude du point cliqué ; en fonction de cette nouvelle valeur, les températures de chaque point de la couverture géographique à l'écran sont calculées en tenant compte des gradients thermiques latitudinaux et altitudinaux.

2.4.3 - Activation d'un glacier

Plusieurs glaciers (de 1 à 5 - ensemble de glaciers) peuvent être traités sur une même couverture géographique ; pour travailler sur un glacier, il suffit de cliquer sur l'icône d'activation puis de donner son numéro.

2.4.4 - Définition de la géométrie d'un glacier

Cette fonction permet de définir directement sur le MNT (à l'aide de la souris) l'axe de plus grande épaisseur du glacier actif. Les coordonnées géographiques de l'axe, son allongement, etc., sont alors mémorisées.

2.4.5 - Définition de l'épaisseur d'un glacier

Cette fonction permet de renseigner l'épaisseur maximum du glacier actif (en mètres) ; cette épaisseur est associée à l'axe défini précédemment.

2.4.6 - Sauvegarde et chargement d'un ensemble de glaciers

Un ensemble de glaciers une fois créé, peut être sauvegardé sur disque pour être ultérieurement rappelé. On appelle ensemble de glaciers un ou plusieurs glaciers dont la localisation, l'extension et l'épaisseur maximum ont été définies par l'utilisateur. Après avoir défini ou chargé un ensemble de glaciers, ceux-ci sont mémorisés et seront pris en compte pour le calcul de l'isostasie glaciaire.

2.4.7 - Calcul de l'isostasie glaciaire (création d'un MND)

Un ensemble de glaciers étant en mémoire, on peut lancer le calcul d'isostasie glaciaire susceptible d'affecter la zone géographique à l'écran. Le logiciel a été conçu pour que les glaciers en mémoire puissent sans aucun problème être en dehors de la couverture géographique active, ce qui permet de calculer l'éventuel impact d'un bourrelet isostasique à plusieurs centaines de kilomètres des glaciers.

Le résultat obtenu se présente sous la forme d'un Modèle Numérique de Déformation (MND) aux mêmes caractéristiques que le MNT actif (couverture, pas de la maille etc.).

Au stade actuel de développement de cette maquette, nous utilisons le modèle de Mörner (1980) que nous avons paramétré en fonction de l'épaisseur maximum et de l'extension théorique de chaque glacier traité.

Dans un second temps, nous intégrerons vraisemblablement d'autres modèles (Walcott, Pelletier, etc.) qui permettront ainsi de comparer, avec des paramètres identiques, les différents modèles.

2.4.8 - Addition d'un MND et d'un MNT

Une fois le MND calculé, on peut l'additionner avec la topographie actuelle ce qui conduit à la création d'un nouveau MNT de la topographie synchrone aux déformations isostasiques.

3 - ILLUSTRATIONS DES RESULTATS

Les sorties graphiques présentées ici illustrent la forme de visualisation sous laquelle les résultats des différentes fonctions disponibles sont présentés ; nous avons arbitrairement décidé de choisir cette partie de l'Europe de l'ouest pour nos illustrations (N 35 W 10° à N 65° E 20°).

3.1 - PRESENTATION DU LOGICIEL (Fig. 1)

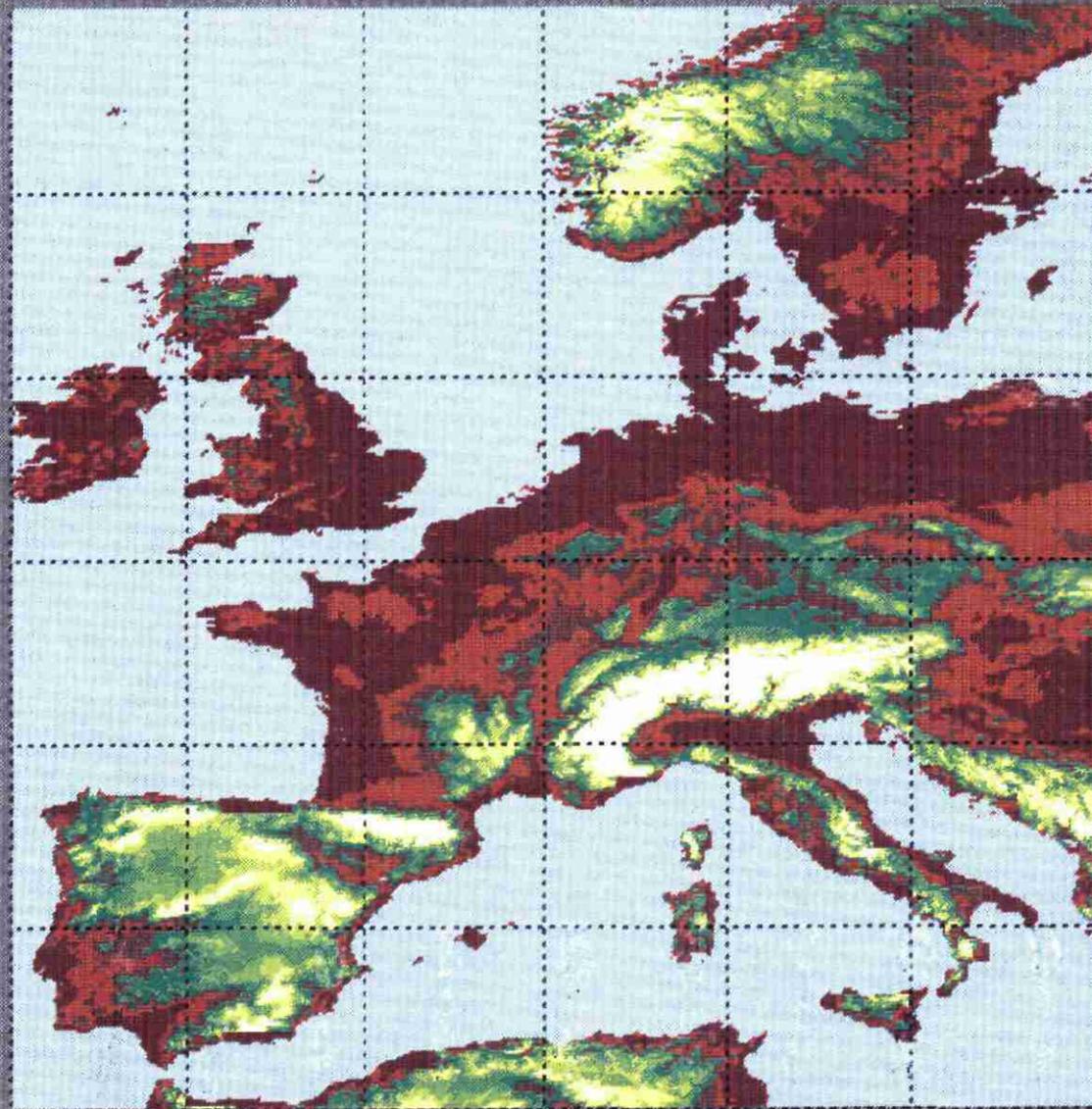
Cette figure présente l'aspect de l'écran après appel du logiciel ; les numéros correspondent, soit à un icône activant une fonction, soit à une zone particulière du logiciel.

FONCTIONS GENERALES :

- 1 - chargement d'une couverture géographique définie par ses coordonnées,
- 2 - hypsonométrie avec l'étagement des couleurs par défaut,
- 3 - ombrage,
- 4 - courbes de niveau,
- 5 - modification de l'étagement des couleurs,
- 6 - changement de palette active,
- 7 - addition d'un MNT et d'un MND,
- 8 - chargement d'un MND,
- 9 - sauvegarde d'un MND,
- 10 - changement de base de données (zoom),
- 11 - pentes,
- 12 - gradient thermique,
- 13 - déplacement de la couverture géographique vers le nord (5'),
- 14 - déplacement de la couverture géographique vers le sud (5'),
- 15 - déplacement de la couverture géographique vers l'est (5'),
- 16 - déplacement de la couverture géographique vers l'ouest (5'),
- 17 - coupe topographique et/ou bathymétrique.

FONCTIONS SPECIFIQUES AU CALCUL D'ISOSTASIE GLACIAIRE :

- 18 - activation d'un glacier,
- 19 - définition de la géométrie d'un glacier,
- 20 - assignation d'une épaisseur au glacier actif,
- 21 - calcul d'isostasie,
- 22 - calcul de la surface d'un glacier,
- 23 - calcul du volume d'un glacier,
- 24 - sauvegarde d'un ensemble de glacier,
- 25 - chargement d'un glacier.



10 18 22
 11 19 23
 12 20 24
 13 21 25

Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

26

Fic : N35W010
 Pal : Standart
 Lat : N 33/10
 Long : W 4/50
 Glacier : 1
 0
 0 27

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Figure 1 : Présentation du logiciel

ZONES DE DIALOGUES :

- 26 - informations concernant les fonctions en cours ou les modes opératoires à suivre, :
- 27 - paramètres courants :
 - Fic : "Nom de fichier"
 - Pal : "palette active"
 - Lat : latitude du point désigné à la souris,
 - Long : longitude du point désigné à la souris,
 - Glacier : "numéro du glacier actif"

3.2 - LES VARIATIONS EUSTATIQUES (Fig. 2, 3 et 4)

Ces figures présentent en hypsonométrie une simulation de variations du niveau marin de respectivement : -80 mètres, niveau actuel, et +50 mètres. Ces figures ne nécessitent que quelques secondes de calcul et d'affichage.

3.3 - COUPES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES
(Fig. 5 et 6)

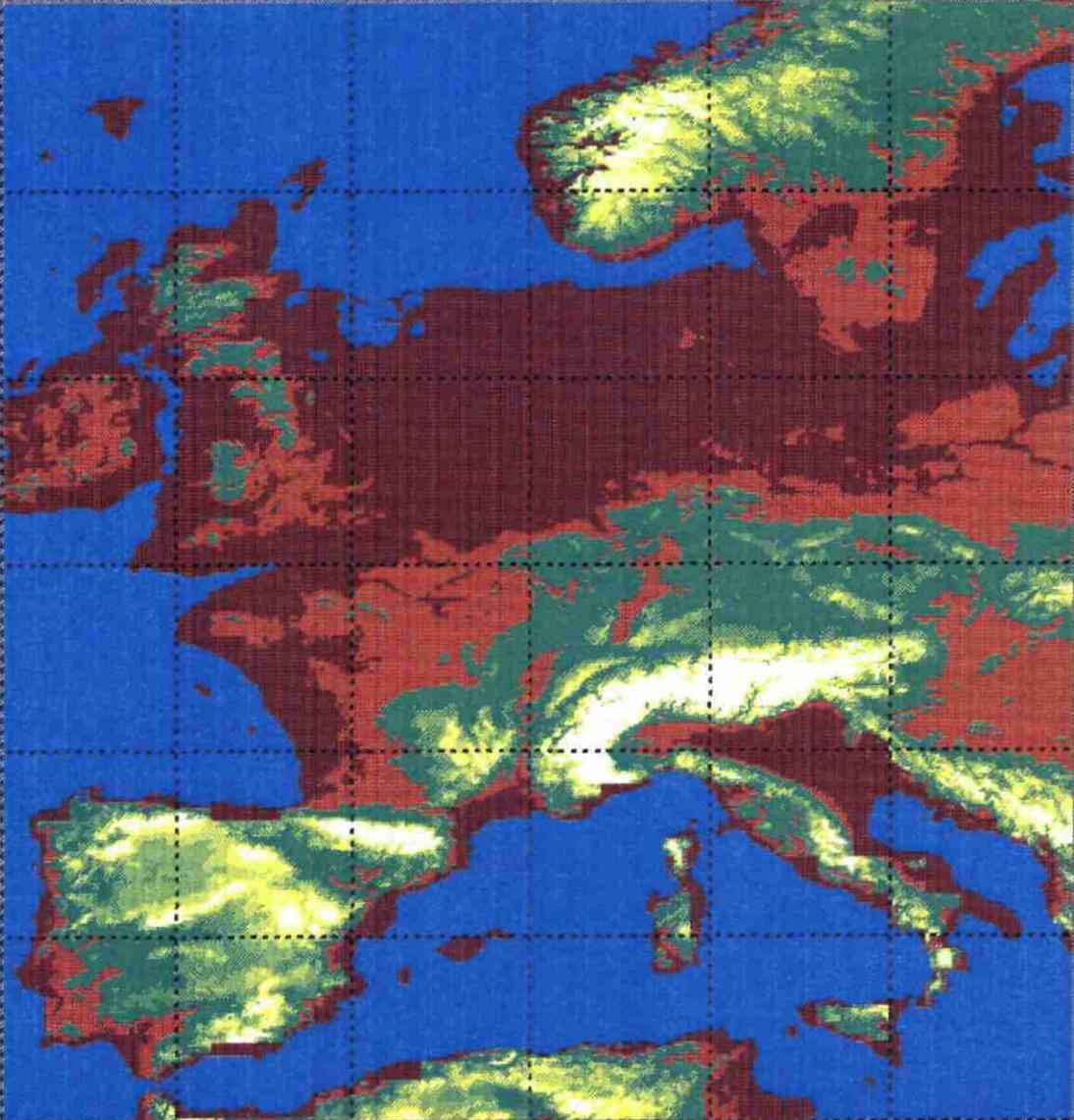
Cette fonction est accessible à tout moment et permet de visualiser instantanément des coupes topographiques, bathymétriques ou celles d'un modèle numérique de déformation. Le nombre de points formant ce profil tout comme l'orientation sont au choix de l'utilisateur.

3.4 - ZOOM AVEC REPRESENTATION HYPSONOMETRIQUE ET COURBES DE NIVEAU
(Fig. 7)

Cette figure illustre les possibilités d'utilisation de plusieurs modes de visualisations simultanées ceci afin de pouvoir valoriser plusieurs observations en même temps. Ainsi la topographie est affichée en hypsonométrie tandis que la bathymétrie est représentée par des courbes de niveau. Le MNT ici utilisé possède une résolution de 2,5 minutes, il a été interpolé à partir de la base de données initiale.

3.5 - MORPHOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL (Fig. 8)

Sur cet exemple, nous avons choisi de mettre en évidence la morphologie sous marine du plateau continental de l'Europe de l'Ouest. Il s'agit d'une visualisation hypsonométrique avec un étagement des couleurs de 0 à - 200 mètres.



1500
1342
1184
1026
868
710
552
394
236
78
-80

Navigation and tool icons:

- Home (Z)
- Zoom In (L)
- Zoom Out (R)
- Temperature (T)
- Home (H)
- Down Arrow
- Play (P)
- Left Arrow
- Empty Box 1
- Empty Box 2
- Empty Box 3

Map interaction icons:

- Sum (Σ)
- Profile (P)
- Area (A)
- Message (M)
- Coordinate (X)
- Coordinate (Y)
- Coordinate (Z)
- Coordinate (X)
- Coordinate (Y)
- Coordinate (Z)

Dialogues

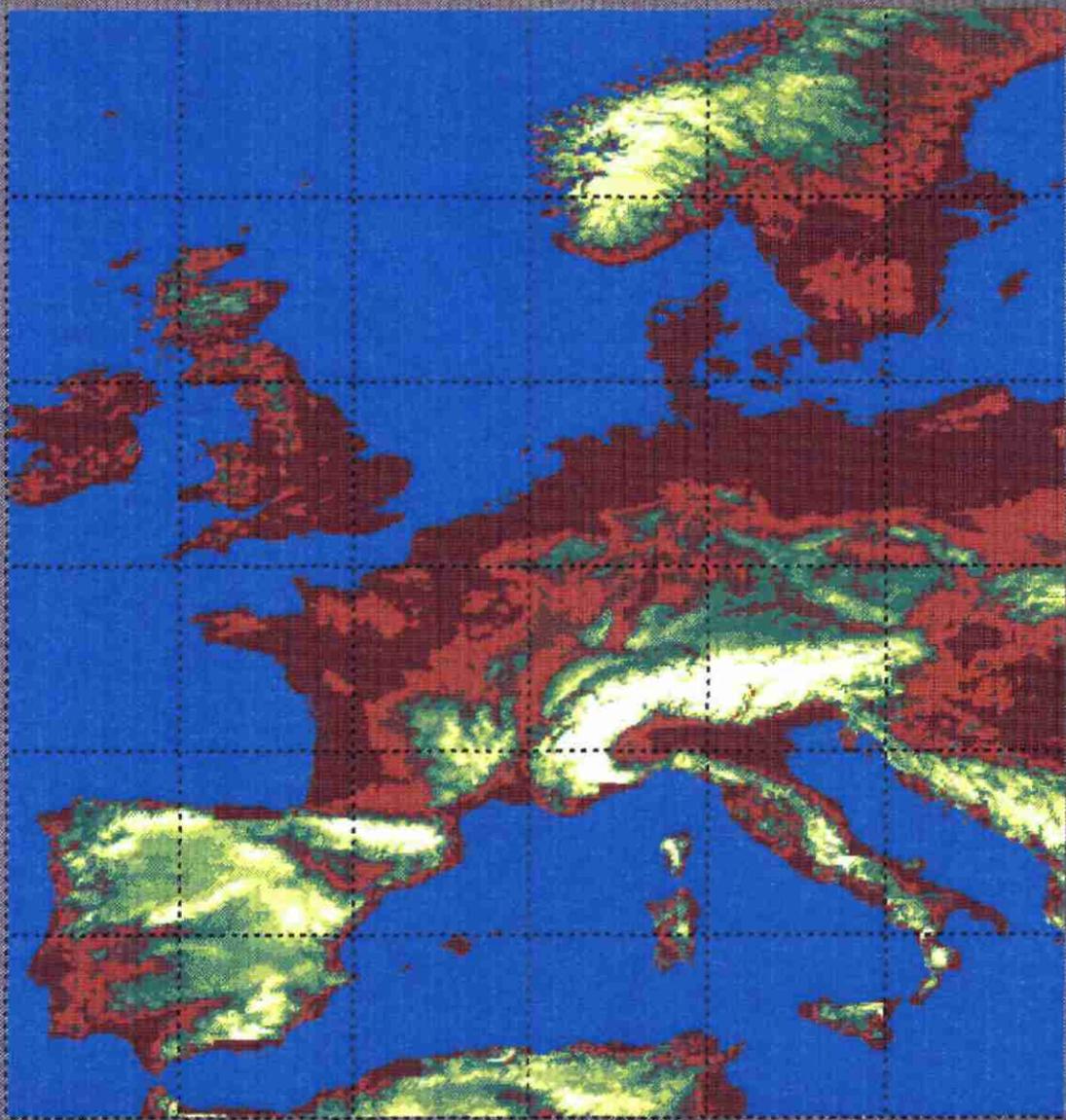
Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : Standart
Lat : N 32/15
Long : W 5/30
Glacier : 1
0
0

Bottom toolbar icons:

- Home (H)
- Profile (P)
- Sun (S)
- Area (A)
- Color (C)
- Plus (+)
- Home (H)
- Home (H)
- Home (H)

Figure 2 : Simulation d'une baisse du niveau marin de 80 mètres

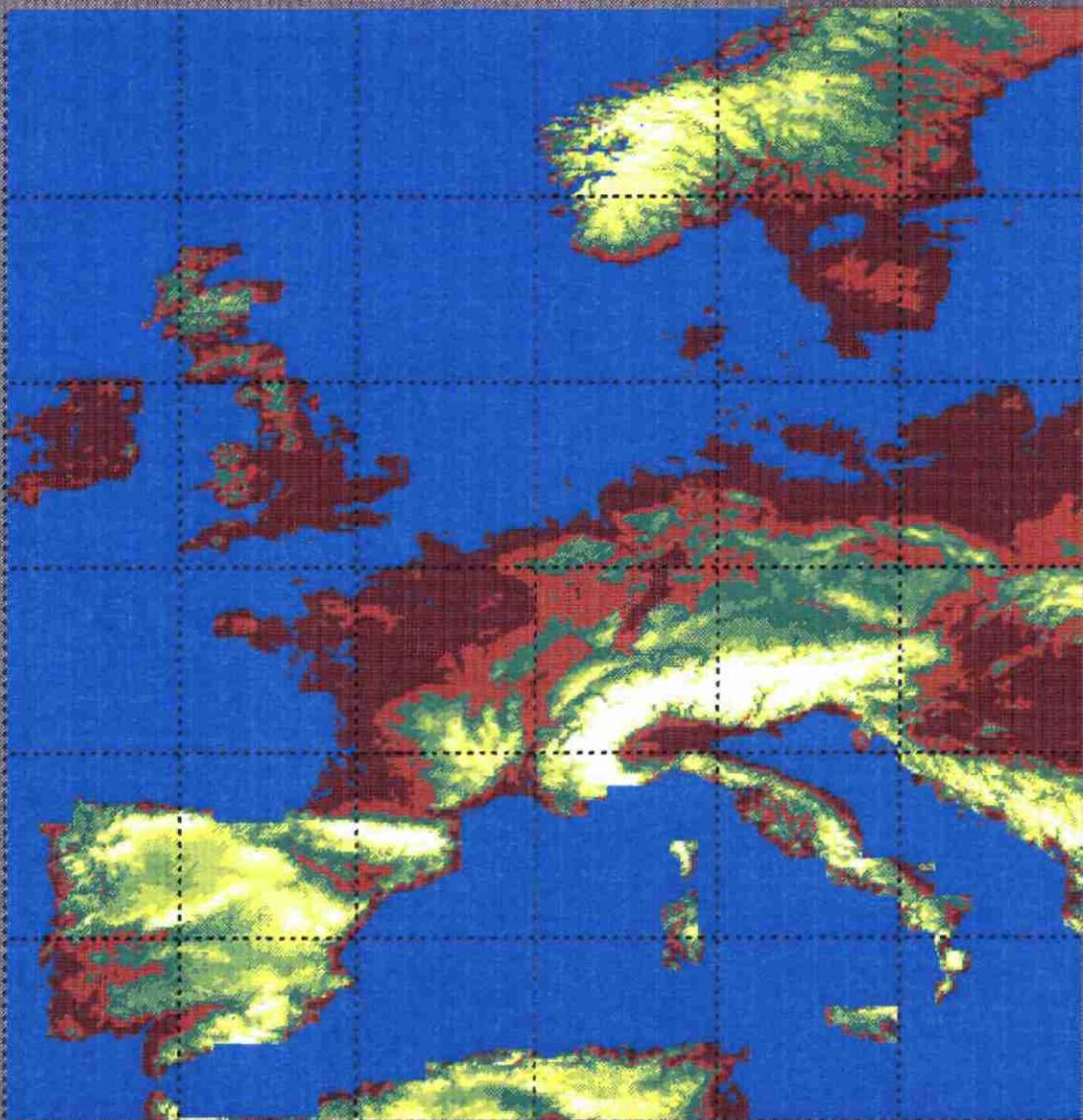


Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
 Pal : Standart
 Lat : N 33/10
 Long : W 4/50
 Glacier : 1
 0
 0

Figure 3 : Niveau marin actuel



Navigation and tool icons:

- Top row: Z, Σ, and a coordinate system icon.
- Second row: A corner icon, a 3D globe icon, and a 2D plot icon.
- Third row: A plot icon, a plot icon, and a plot icon.

Dialogues

Mode
sé lection.
Veuillez
sé lectionner
une
fonction...

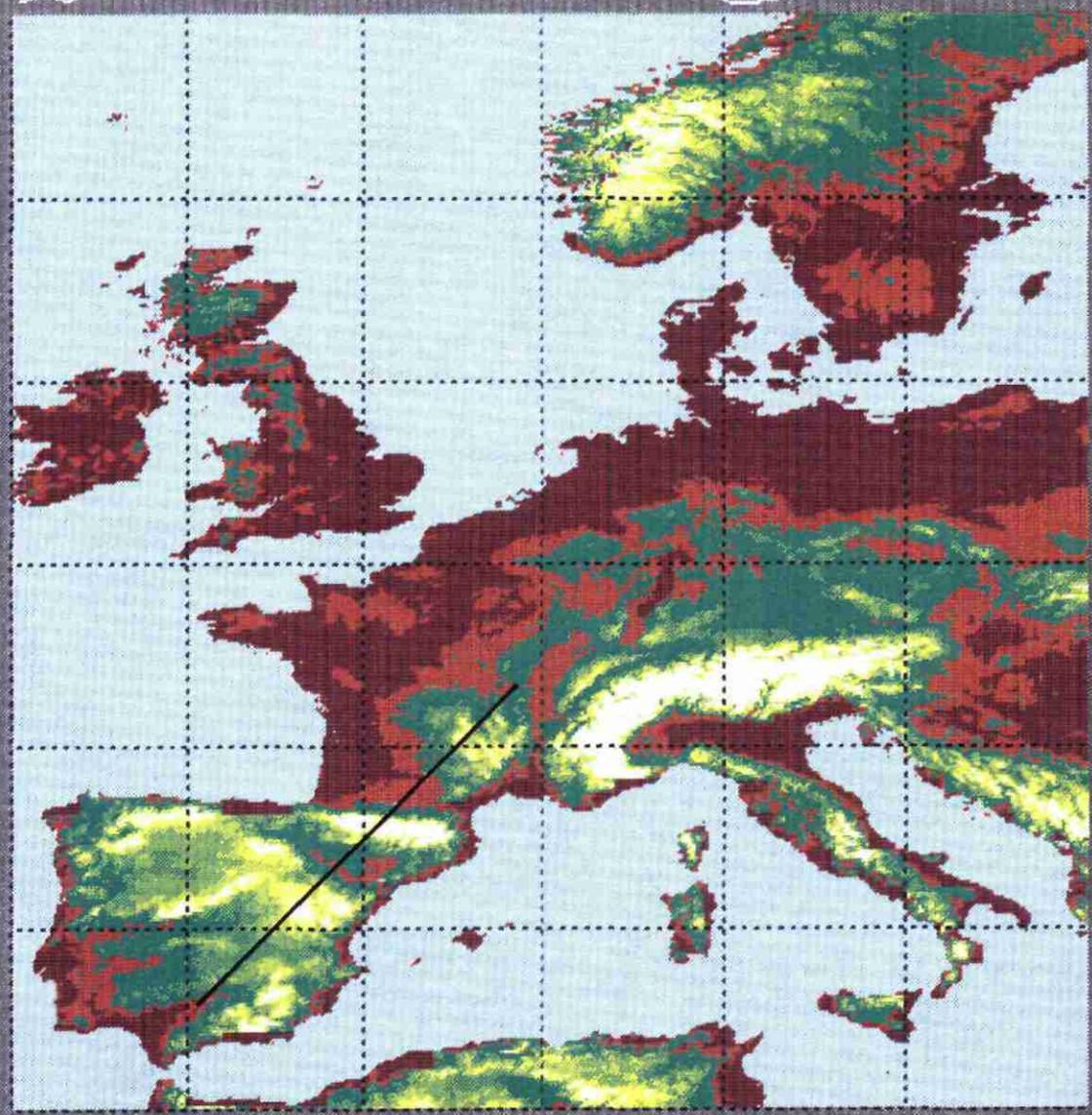
Fic : N35W010
Pal : Standart
Lat : N 32/45
Long : W 4/40
Glacier : 1
0
0

Bottom navigation icons:

- Icons for map navigation: a person icon, a map outline, a sun, a contour line, a color bar, a globe, a plus sign, a person icon, a person icon, and a person icon.

Figure 4 : Simulation d'une montée du niveau marin de 50 mètres

2316
1883
1450
1016
583



R 32138 GEO BAS 91

22

Navigation and control panel with various icons for zooming, panning, and map manipulation.

Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : Standart
Lat : N 49/40
Long : E 3/50
Glacier : 1
0
0

Figure 5 : Coupe topographique

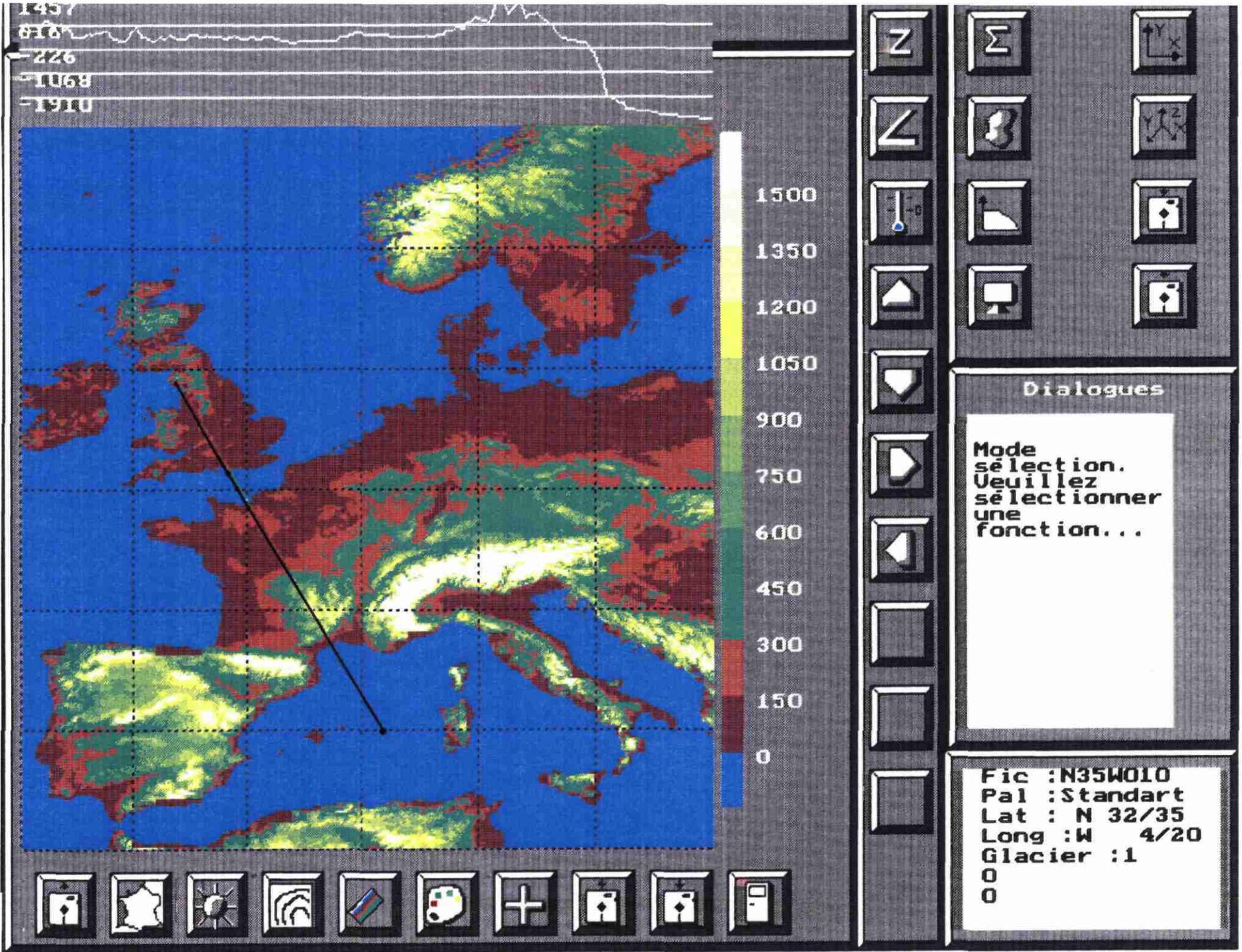
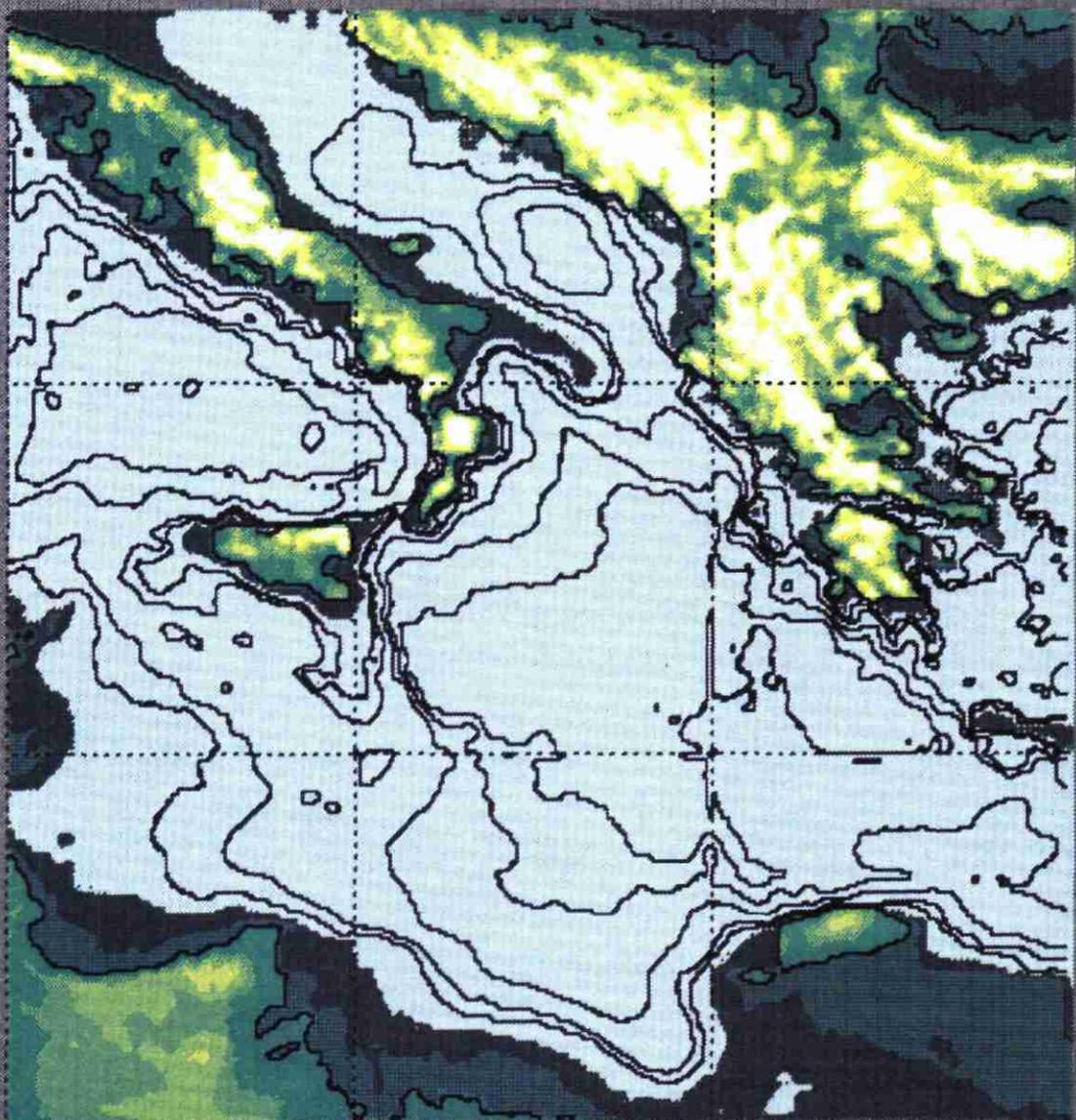


Figure 6 : coupe topographique et bathymétrique



1191
1072
953
834
715
596
477
358
239
120
1

Navigation and tool icons including a zoom (Z), a sigma symbol (Σ), a person icon, a map icon, a speech bubble icon, a compass icon, a home icon, and a refresh icon.

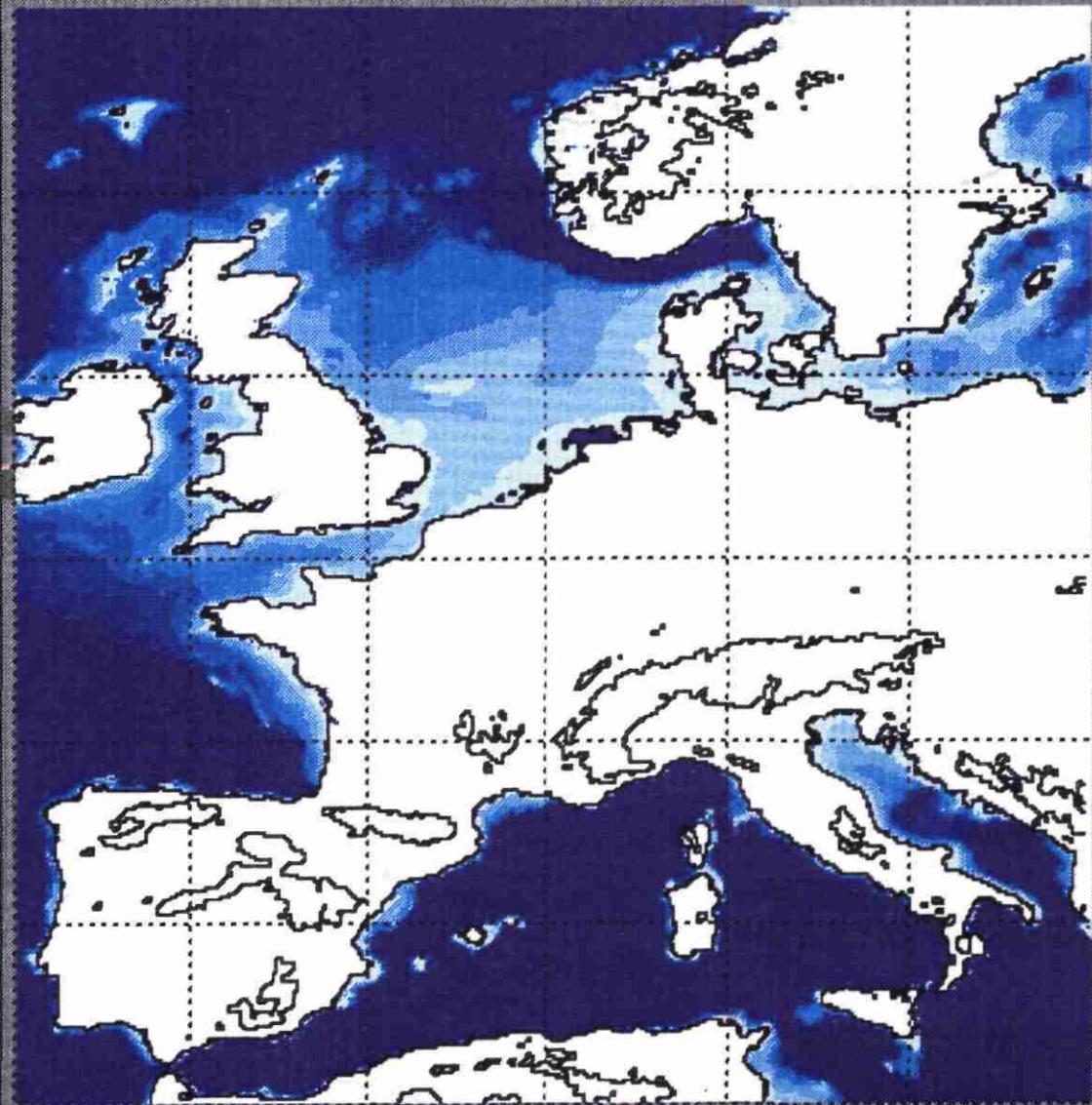
Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N30E010
Pal : Standart
Lat : N 45/57
Long : E 30/12
Glacier : 1
0
0

Bottom navigation icons including a home icon, a map icon, a sun icon, a contour icon, a pencil icon, a globe icon, a plus sign icon, a person icon, a speech bubble icon, and a refresh icon.

Figure 7 : Zoom avec représentation hypsonométrique de l'altimétrie et courbes de niveau de la bathymétrie



Navigation and tool icons:

- Row 1: Home, Sum (Σ), Plot (graph with axes)
- Row 2: Zoom (Z), Profile (line graph), Plot (graph with axes)
- Row 3: Temperature (thermometer), Home (house), Plot (graph with axes)
- Row 4: Home (house), Home (house)
- Row 5: Home (house), Home (house)
- Row 6: Home (house), Home (house)
- Row 7: Home (house), Home (house)

Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : bleu
Lat : N 68/40
Long : E 31/50
Glacier : 1
0
0

Bottom navigation icons:

- Home (house)
- Profile (line graph)
- Temperature (thermometer)
- Home (house)

Figure 8 : Visualisation en hypsonométrie du plateau continental

3.6 - CARTE OMBREE (Fig. 9)

Ce mode de représentation par ombrage met en relief les traits morphologiques inhérents à une topographie ; elle permet de visualiser rapidement les différentes zones morphologiques d'un paysage. Le réalisme morphologique est fonction de la résolution du MNT.

3.7 - CARTE DES PENTES (Fig. 10)

Cette fonction offre une cartographie des pentes de la région étudiée ; sur cet exemple, la résolution de 5 minutes du MNT (maille de 9 km environ) ne permet pas d'avoir une image précise des pentes mais permet de définir les zones appartenant statistiquement à un ensemble de pentes plus ou moins fortes.

Lorsque des MNT à résolutions plus fines seront disponibles, il sera possible, en changeant d'échelle, d'obtenir des cartes de pentes plus réalistes.

3.8 - CARTE THERMIQUE (Fig. 11)

Cette fonction permet de simuler le gradient thermique théorique à partir d'une valeur de température locale fournie par l'utilisateur. Pour le moment, cette carte thermique n'est calculée qu'à partir des gradients latitudinaux et altitudinaux. En modifiant l'étagement des couleurs, on peut, au besoin, affiner les observations sur une tranche de température particulière.

3.9 - MODELE NUMERIQUE DE DEFORMATION ISOSTASIQUE (Fig. 12 et 13)

Ces deux figures correspondent aux résultats d'un calcul d'isostasie glaciaire due à trois glaciers situés sur la Scandinavie, la Grande Bretagne et les Alpes. Ces glaciers ont été définis préalablement à l'aide des fonctions de définition géométrique et d'épaisseur (cf. 2.4.4, 2.4.5, 2.4.6).

La figure 12 traite des déformations négatives (enfoncements isostasiques) tandis que la figure 13 met en évidence les déformations positives (bourrelets) ; ces deux images résultent d'une visualisation du même MND en hypsonométrie, avec des étagements de couleurs différents. Nous noterons les différents phénomènes d'interférence entre les isostasies dues à chaque glacier avec par exemple la présence de l'enfoncement isostasique alpin dans le bourrelet généré par le glacier scandinave.



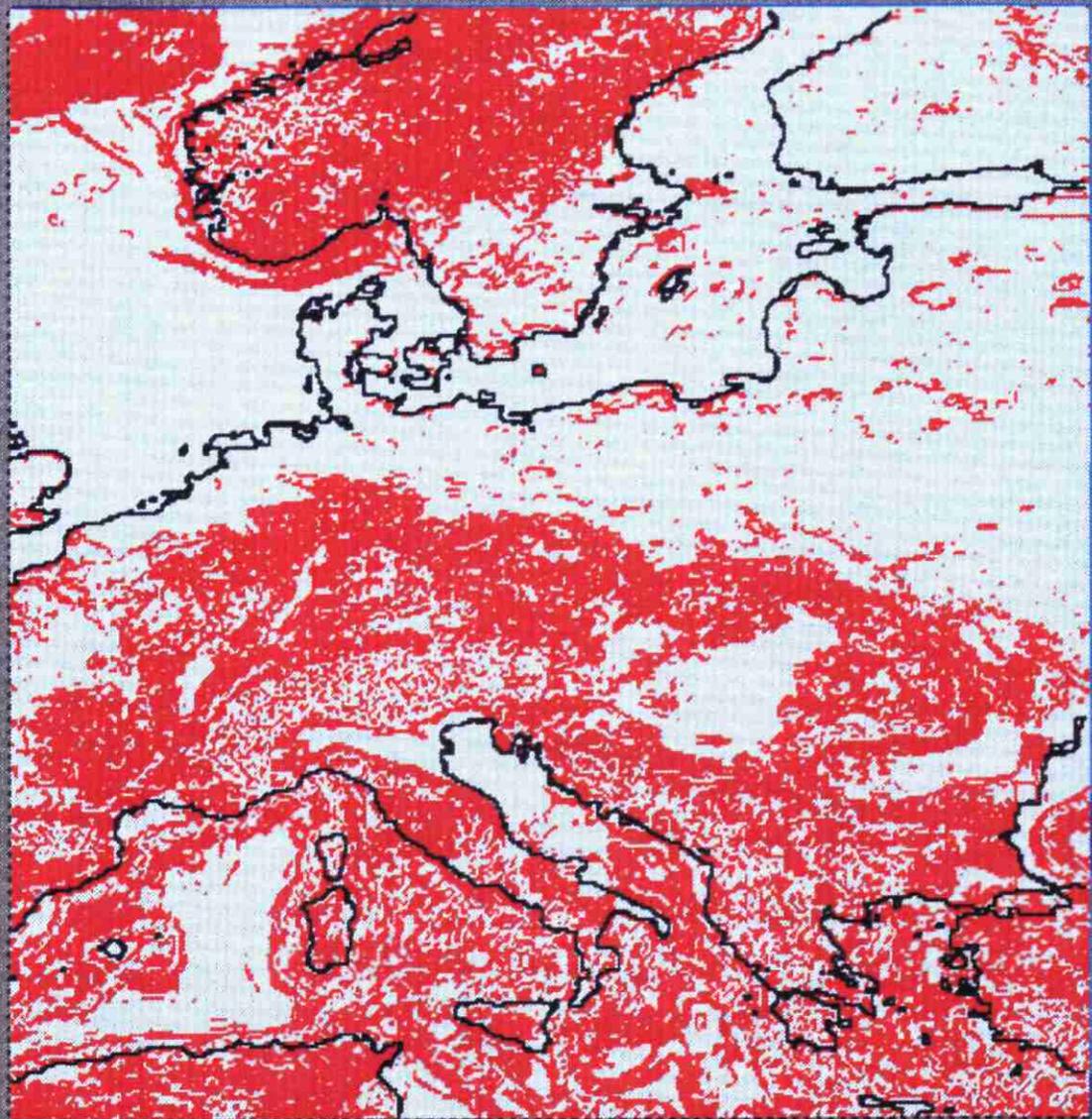
Navigation and control panel with various icons for zooming, panning, and map manipulation.

Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : bleu
Lat : N 32/40
Long : W 1/30
Glacier : 1
0
0

Figure 9 : Carte ombrée .



Navigation and tool icons:

- Top row: Home, Sum (Σ), and a square with a crosshair.
- Second row: A square with a diagonal line, a square with a circle, and a square with a square.
- Third row: A square with a vertical line and a circle, a square with a square, and a square with a square.

Dialogues

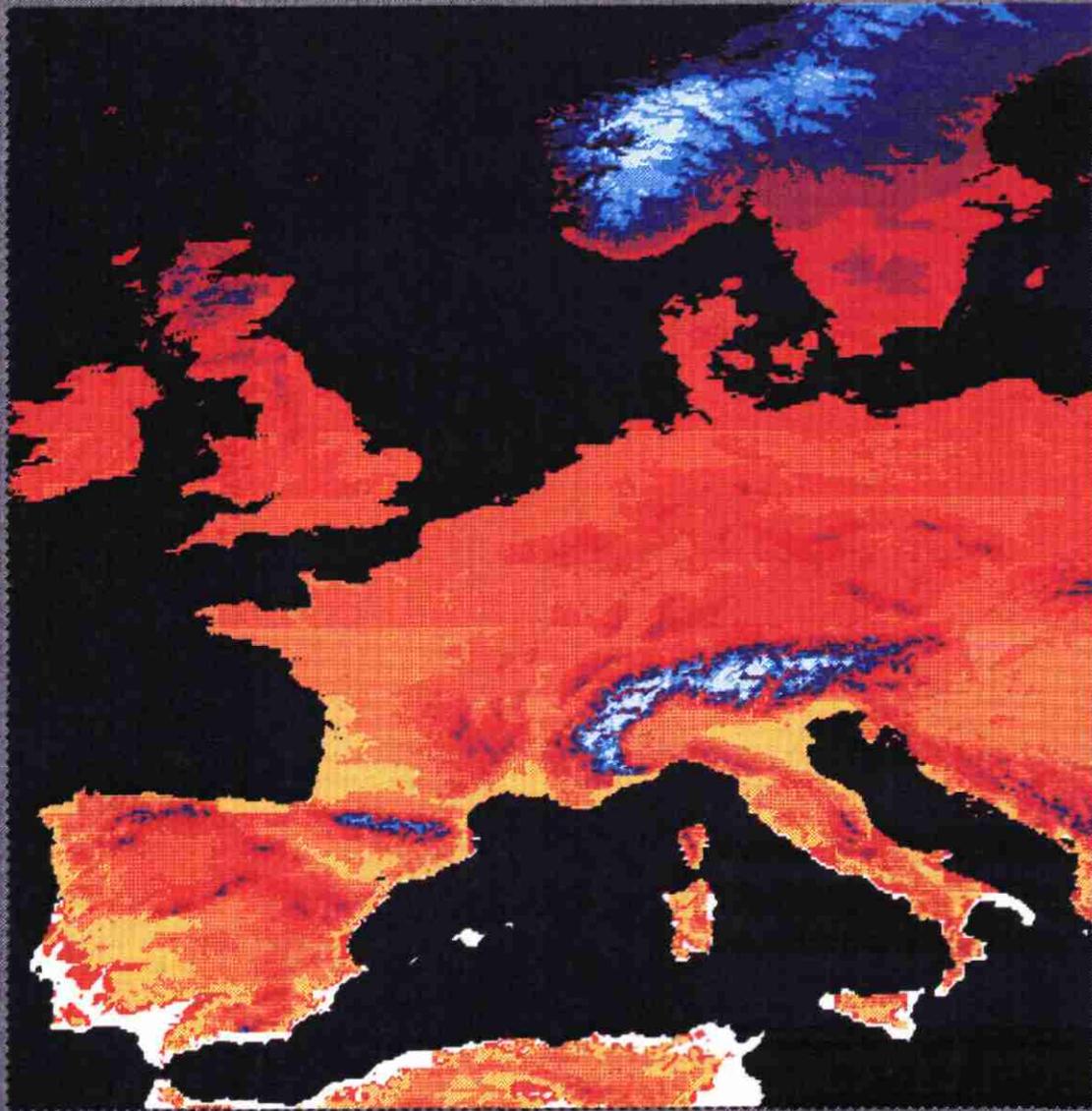
Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35E000
Pal : brunjaun
Lat : N 68/40
Long : E 41/55
Glacier : 1
0
0

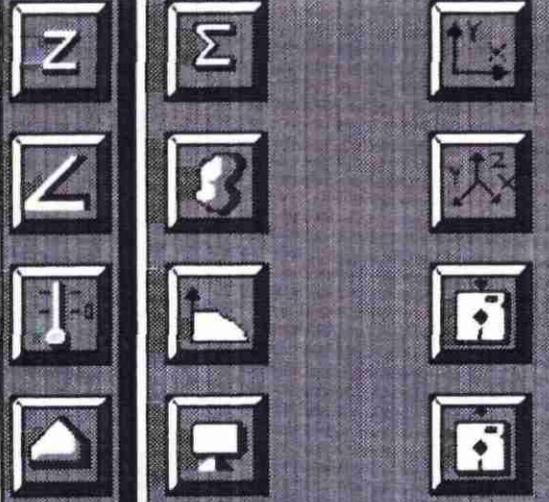
Bottom navigation icons:

- Home, a square with a square, a square with a sun, a square with a square, a square with a square.

Figure 10 : Cartes des pentes : bleu clair pentes < 5 %, rouge pentes > 5 %



15
13
11
9
7
5
3
1
-1
-3
-5



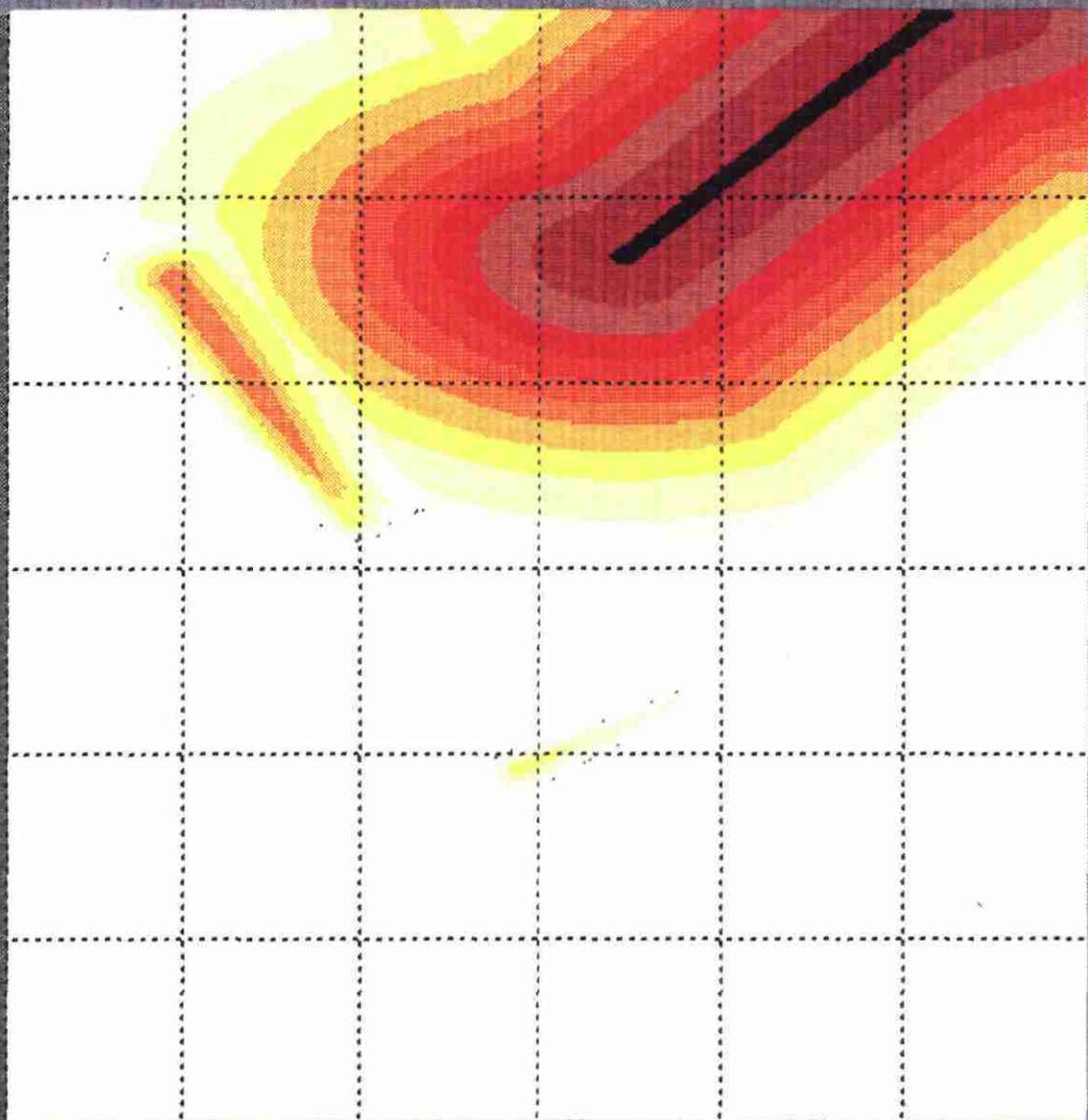
Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : climat
Lat : N 44/20
Long : E 3/25
Glacier : 1
0
0



Figure 11 : Carte thermique théorique en fonction d'une valeur définie par l'utilisateur .



Navigation and tool icons:

- Top row: Home (Z), Sum (Σ), 3D View (3D axes)
- Second row: Zoom In (↖), Rotate (3D rotation), 2D View (2D axes)
- Third row: Zoom Out (↗), Plot (graph icon), Plot (graph icon)
- Fourth row: Home (house icon), Plot (graph icon)
- Fifth row: Plot (graph icon)
- Sixth row: Plot (graph icon)
- Seventh row: Plot (graph icon)
- Eighth row: Plot (graph icon)
- Ninth row: Plot (graph icon)

Dialogues

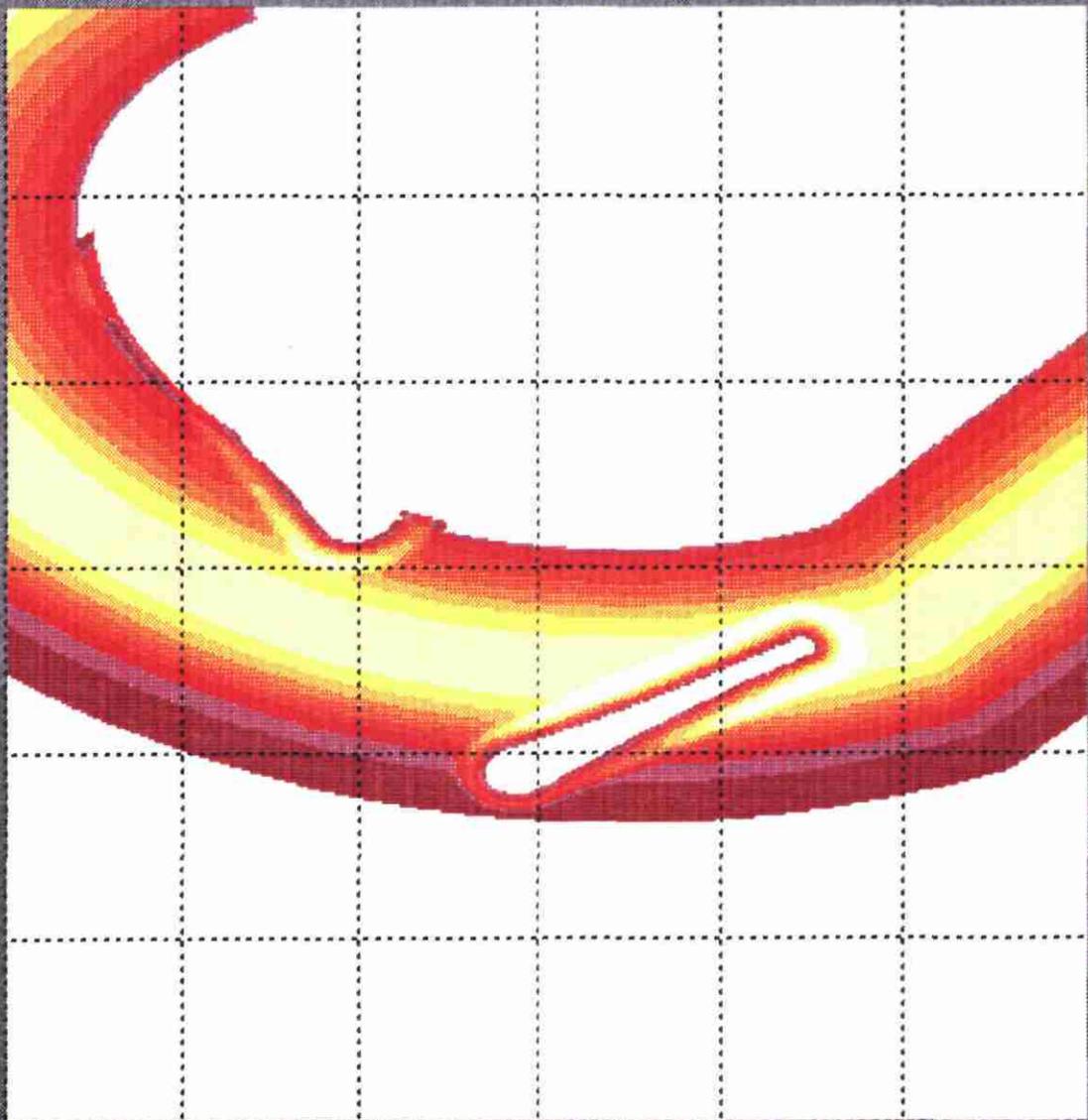
Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : Standart
Lat : N 32/ 0
Long : W 4/20
Glacier : 1
0
0

Bottom toolbar icons:

- Plot (graph icon)

Figure 12 : Calcul d'isostasie glaciaire : enfoncement isotasique .



191
172
153
134
115
96
77
58
39
20
1

Navigation and tool icons:

- Top row: Z, Σ, and a coordinate system icon.
- Second row: A corner icon, a 3D globe icon, and a 2D plot icon.
- Third row: A plot icon, a monitor icon, and a 3D plot icon.

Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : Standart
Lat : N 32/25
Long : W 4/15
Glacier : 1
0
0

Bottom toolbar icons:

- Clipboard, map outline, sun, contour lines, red pencil, palette, plus sign, 3D globe, 2D plot, and a printer icon.

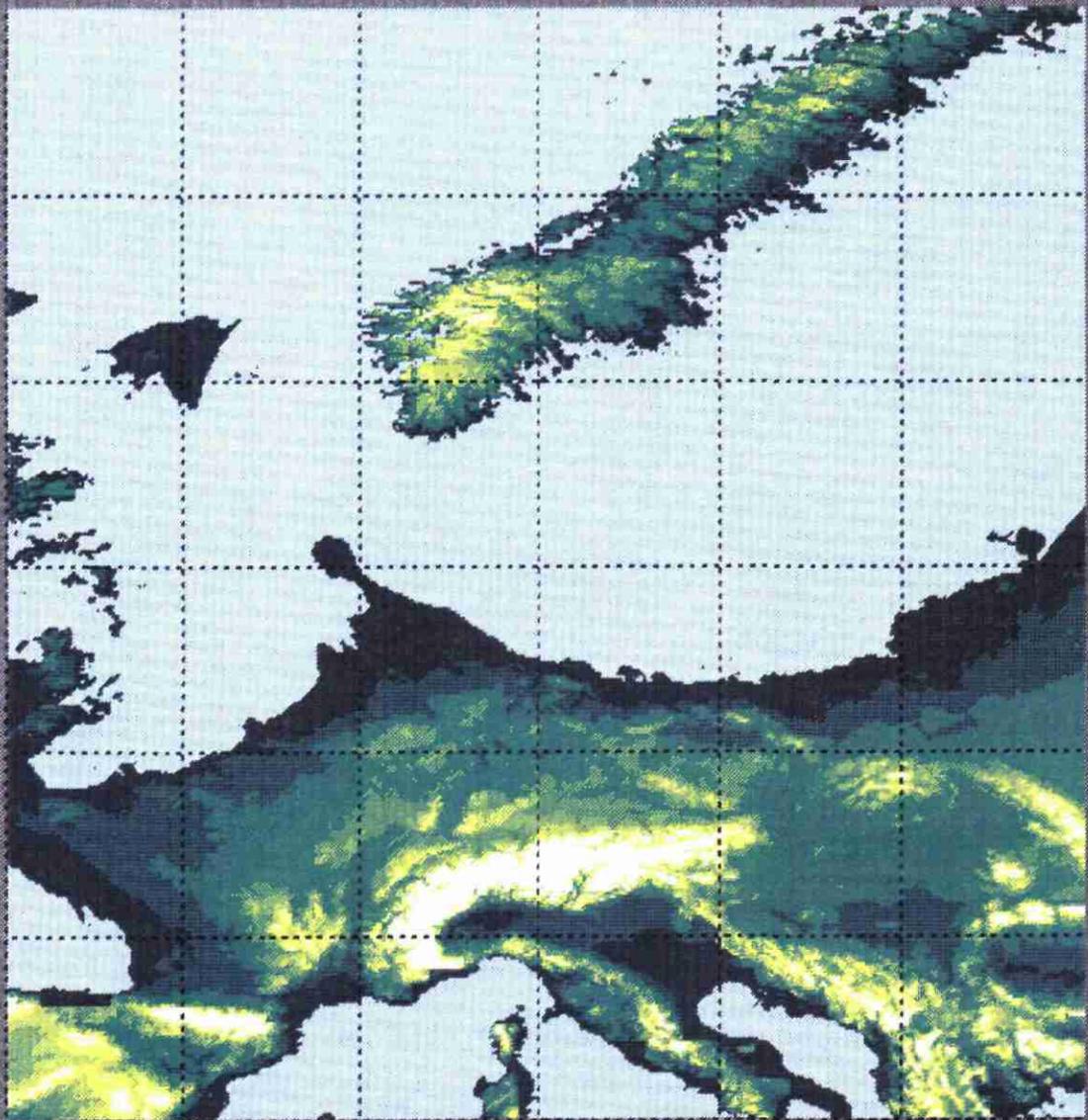
Figure 13 : Calcul d'isostasie glaciaire : bourelet isostasiqne .

**3.10 - TOPOGRAPHIE ET BATHYMETRIE APRES CALCUL D'ISOSTASIE GLACIAIRE
(Fig. 14, 15)**

Ces deux figures montrent l'aspect de la topographie après l'application du calcul d'isostasie (addition du MNT et du MND) et une baisse du niveau marin de -80 mètres par exemple.

La figure 14 illustre l'aspect du trait de côte et de la topographie tandis que la figure 15 met en valeur la bathymétrie.

La comparaison de ces images et de la figure 2 (par exemple), illustre bien les profondes modifications morphologiques, topographiques et bathymétriques résultant des déformations isostasiques.



Navigation and tool icons:

- Σ (Sum)
- Map navigation icons (Home, Back, Forward, etc.)
- Map display icons (Full screen, Zoom, etc.)

Dialogues

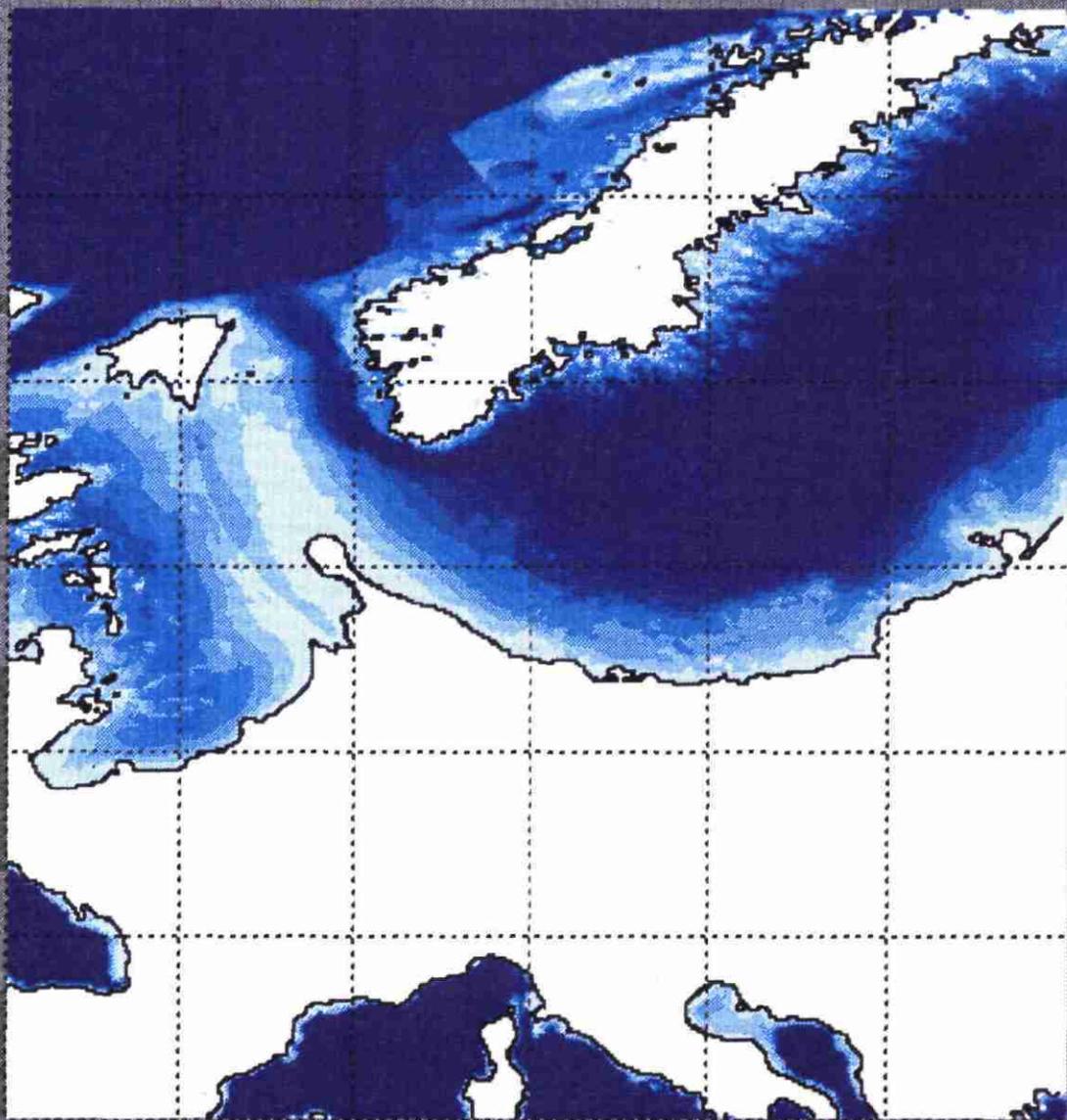
Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : Standart
Lat : N 32/35
Long : W 4/50
Glacier : 1
0
0

Bottom navigation icons:

- Map navigation icons (Home, Back, Forward, etc.)
- Map display icons (Full screen, Zoom, etc.)
- Other application icons (Eraser, Pencil, etc.)

Figure 14 : Addition du MNT et de la déformation isostasique avec baisse du niveau marin de 80 mètres (topographie).



Navigation and control panel containing various icons and text boxes.

Dialogues

Mode
sélection.
Veuillez
sélectionner
une
fonction...

Fic : N35W010
Pal : bleu
Lat : N 69/ 5
Long : E 32/50
Glacier : 1
0
0

Figure 15 : Addition du MNT et de la déformation isostasique avec baisse du niveau marin de 80 mètres (bathymétrie).

4 - EXEMPLE D'APPLICATION A LA GEOPROSPECTIVE

Exemple de scénario appliqué à la géoprospective.

D'après les courbes de Milankovitch ou des données thermiques fournies par l'analyse de la végétation, on pourra évaluer le changement de température en un point donné ; cette température pourra être répercutée sur une couverture géographique (choisie par l'utilisateur), à l'aide de la fonction gradient thermique (fig. : 11). Les zones susceptibles d'être sous l'emprise des neiges persistantes seront visualisées ; sur ces zones, si toutes les conditions favorables sont réunies (morphologie, précipitations etc...), des glaciers s'installeront.

L'utilisateur peut définir interactivement les zones probables de développement des glaciers et leur assigner une épaisseur. Un calcul isostatique peut alors être lancé, ce dernier aboutira à la création d'un Modèle Numérique de Déformation (MND) qui pourra être additionné au MNT afin d'obtenir la topographie et la bathymétrie de cette période future. Parallèlement à cette phase de glaciation, le niveau marin baissera : l'utilisateur peut lui-même fixer cette variation et visualiser les traits de côtes, les fonds sous-marins, etc.

Il peut ensuite appliquer tous les modes de visualisations disponibles afin de mettre en évidence les impacts générés par cette profonde modification du paysage. Le logiciel, dans sa forme actuelle, est relativement simpliste mais :

- il est ouvert, ce qui permettra de le compléter afin de traiter des scénarii plus réalistes,
- il permet de tester de multiples hypothèses.

5 - AVERTISSEMENTS, LIMITES ET DEVELOPPEMENTS

Geoprospect n'est qu'une maquette en cours d'élaboration pour venir en aide aux études de géoprospective et à celles de la géologie du Quaternaire. Son objectif est de valider des concepts, des algorithmes et des modes opératoires. Son état actuel n'est pas définitif et est susceptible d'être modifié en fonction des besoins et des développements futurs.

La rapidité de calcul et de visualisation est correcte sur un ordinateur cadencé à 25 MégaHertz ; celle-ci permet un contrôle rapide des résultats autorisant des simulations avec différents paramètres.

Aux fonctions actuellement implémentées, il serait rapidement possible :

- d'inclure d'autres modèles de déformations isostasiques,
- d'associer au MNT mondial d'autres MNT à résolution supérieure ce qui autoriserait des travaux plus régionalisés,
- d'inclure l'effet de continentalité au calcul thermique,
- d'introduire des zones de discontinuités morphologiques ou autres permettant de simuler des événements tectoniques,
- d'obtenir des visualisations 3D, etc.

